



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

FA.1553.1

TRANSFERRED TO
FINE ARTS LIBRARY



Harvard College Library.

FROM THE REQUEST OF

CHARLES SUMNER, LL.D.,
OF BOSTON,

[Class of 1830].

"For books relating to Politics and
Fine Arts."

14 Jan, 1896.



Die Gesamtanordnung und Gliederung des »Handbuches der Architektur« ist am Schlusse des vorliegenden Heftes zu finden.

Ebendasselbst ist auch ein Verzeichniss der bereits erschienenen Bände beigelegt.

Jeder Band, bzw. jeder Halb-Band und jedes Heft des »Handbuches der Architektur« bildet ein für sich abgeschlossenes Ganze und ist einzeln käuflich.

HANDBUCH DER ARCHITEKTUR.

Unter Mitwirkung von Fachgenossen

herausgegeben von

Oberbaudirector

Professur Dr. **Josef Durm**

in Karlsruhe,

Geheimer Regierungsrath

Professur **Hermann Ende**

in Berlin,

Geheimer Baurath

Professur Dr. **Eduard Schmitt**

in Darmstadt

und

Geheimer Baurath

Professur Dr. **Heinrich Wagner**

in Darmstadt.

Dritter Theil:

DIE HOCHBAU-CONSTRUCTIONEN.

2. Band:

Raumbegrenzende Constructionen.

3. Heft:

Balkendecken.

Gewölbte Decken (Gewölbe).

Verglaste Decken und Deckenlichter.

Sonstige Decken-Constructionen.



VERLAG VON ARNOLD BERGSTRÄSSER IN DARMSTADT.

1895.



DIE
HOCHBAU-CONSTRUCTIONEN.
DES
HANDBUCHES DER ARCHITEKTUR
DRITTER THEIL.

2. Band:
Raumbegrenzende Constructionen.

3. Heft:

Balkendecken.

Von **Georg Barkhausen**,
Professor an der technischen Hochschule zu Hannover.

Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von **Carl Körner**,
Herzogl. Braunschweig. Geh. Hofrath und Professor an der technischen Hochschule zu Braunschweig.

Verglaste Decken und Deckenlichter.

Von
Adolf Schacht,
Regierungs-Baumeister in Hannover.
und
Dr. Eduard Schmitt,
Großh. Hess. Geh. Baurath und Professor an der technischen
Hochschule zu Darmstadt.

Sonstige Decken-Constructions.

Von **Georg Barkhausen**,
Professor an der technischen Hochschule zu Hannover.

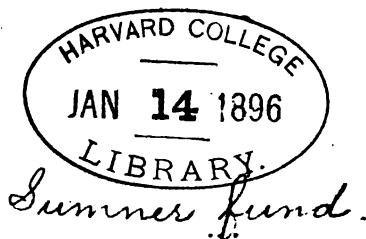
Mit 682 in den Text eingedruckten Abbildungen, so wie 12 in den Text eingestepeten Tafeln.



DARMSTADT 1895.
VERLAG VON ARNOLD BERGSTRÄSSER.

~~# 1250~~

FA 1553.1



Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen bleibt vorbehalten.

Zink-Hochätzungen aus der k. u. k. Hof-Photogr. Kunst-Anstalt von C. ANGERER & GÖSCHL in Wien.
Druck der UNION DEUTSCHE VERLAGSGESELLSCHAFT in Stuttgart.

Handbuch der Architektur.

III. Theil.

Hochbau-Constructionen.

2. Band, Heft 3.

INHALTS-VERZEICHNISS.

Raumbegrenzende Constructionen.

2. Abschnitt.

Nach oben begrenzende Constructionen.

	Seite
Vorbemerkungen	1
A. Balkendecken	2
Literatur über »Balkendecken im Allgemeinen«	2
1. Kap. Unterstützung der Balkendecken	2
a) Unterstützung durch Gebäudewände	2
b) Unterstützung durch Freistützen	7
c) Auflagerung der Balken auf Unterzügen, bzw. der Unterzüge auf einem Mittelträger	24
Literatur über »Unterstützung der Balkendecken«	28
2. Kap. Balkendecken in Holz	28
a) Balkenlage	28
b) Ausfüllung der Balkenfache (Fehlböden oder Zwischendecken)	37
1) Balkenlagen ohne Ausfüllung	37
2) Dübelböden	38
3) Windelböden und Wickelböden, Wellerungen und Stakungen	38
4) Einschubböden	42
5) Befondere Anordnungen	44
6) Wandanchluss der Fachausfüllung	48
c) Decke im engeren Sinne	49
Literatur über »Balkendecken in Holz«	57
3. Kap. Balkendecken in Holz und Eisen	57
Literatur über »Balkendecken in Holz und Eisen«	63
4. Kap. Balkendecken in Stein, bzw. Mörtel und Eisen	63
a) Auswölbung der Trägerfache	63
b) Ausfüllung der Trägerfache mit künstlichen Steinplatten	72
c) Ausfüllung der Trägerfache mit Beton	75
1) Gewölbte Betondecken (Betonkappen)	75
2) Gerade Betondecken	80

	Seite
d) <i>Rabitz-</i> und <i>Monier-</i> Decken	83
e) Sonstige Anordnungen	86
Literatur über »Balkendecken in Stein, bezw. Mörtel und Eifen«	87
5. Kap. Balkendecken in Eifen	87
Literatur über »Balkendecken in Eifen«	90
6. Kap. Stärke der Deckentheile und -Unterstützungen	91
a) Belastungen	91
1) Eigengewicht der Decken	91
Tabelle über Eigengewichte verschiedener Balkendecken	91
2) Nutzlast	93
b) Abmessungen der Deckentheile	93
1) Stärke der Fussbodenbeläge	93
2) Stärke der Ausfüllungen der Balkenfache	93
Tabelle über Abmessungen und Gewichte von flachen Wellblechen	105
Tabelle über Abmessungen und Gewichte von Trägerwellblechen	106
3) Querschnittsermittlung für Balken und Träger	109
c) Abmessungen von Balkenlagen mit Unterzügen	119
1) Gleiche Oeffnungsweiten	119
2) Verschiedene Oeffnungsweiten	124
7. Kap. Schutz der Balkendecken gegen Feuchtigkeit und Schalldurchlässigkeit	133
a) Feuchtigkeitsschutz für die Ausfüllungen der Balkenfache	133
b) Feuchtigkeitsschutz für die Träger, Balken und Lagerhölzer	134
c) Feuchtigkeitsschutz für die Freistützen	137
d) Schutzmittel gegen Schalldurchlässigkeit	138
B. Gewölbte Decken (Gewölbe)	141
8. Kap. Allgemeines	141
Literatur über »Gewölbe im Allgemeinen«	145
9. Kap. Tonnen- oder Kufengewölbe	146
a) Gestaltung der Tonnengewölbe	146
b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager	181
c) Ausführung der Tonnengewölbe	217
10. Kap. Kappengewölbe (Preussische Kappen)	262
a) Gestaltung der Kappengewölbe	262
b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager	263
c) Ausführung der Kappengewölbe	287
11. Kap. Klostergewölbe und Muldengewölbe	303
a) Klostergewölbe	303
1) Gestaltung der Klostergewölbe	303
2) Stärke der Klostergewölbe und ihrer Widerlager	319
3) Ausführung der Klostergewölbe	321
b) Muldengewölbe	331
12. Kap. Spiegelgewölbe	332
a) Gestaltung der Spiegelgewölbe	332
b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager	336
c) Ausführung der Spiegelgewölbe	336
13. Kap. Kreuzgewölbe im Allgemeinen	339
14. Kap. Kreuzgewölbe im Besonderen	351
a) Cylindrische Kreuzgewölbe	351
1) Gestaltung der cylindrischen Kreuzgewölbe	351
2) Stärke der cylindrischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager	361
a) Stabilität der Gewölbekappen	362
β) Stärke der Gratbogen	375
γ) Stärke der Widerlager	378
δ) Empirische Regeln für die Gewölbstärke	381
ε) Verankerungen	384
3) Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe	385

	Seite
b) Gothische Kreuzgewölbe	401
1) Einfache gothische Kreuzgewölbe	403
α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen	403
β) Die Scheitel der Randbogen tiefer, als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen	406
γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer, als die Scheitel der Randbogen gelegen	409
2) Mehrtheilige gothische Kreuzgewölbe (Stern- und Netzwölbe)	411
3) Gothische Kreuzkappengewölbe	421
4) Steigende gothische Kreuzgewölbe	422
5) Widerlager der gothischen Kreuzgewölbe	426
6) Rippen der gothischen Kreuzgewölbe	434
7) Einwölbung der Kappen	435
α) Bußige Kappen ohne Stelzung	435
β) Bußige Kappen mit Stelzung	451
8) Stärke der gothischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager	460
α) Stabilität der Gewölbekappen	460
β) Stabilität der Gewölberippen	476
γ) Stabilität der Widerlager	481
9) Ausführung der gothischen Kreuzgewölbe	489
15. Kap. Fächer- oder Trichtergewölbe	495
a) Gestaltung der Fächergewölbe	495
b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager	500
c) Ausführung der Fächergewölbe	501
16. Kap. Kuppelgewölbe	504
a) Gestaltung der Kuppelgewölbe	504
b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager	516
c) Ausführung der Kuppelgewölbe	526
d) Nischen- oder Chorgewölbe	532
17. Kap. Böhmisches Kappengewölbe	533
a) Gestaltung der böhmischen Kappengewölbe	533
α) Sämmtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene	534
β) Die Kämpferpunkte liegen in verschiedenen wagrechten Ebenen	541
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer schiefen Ebene	543
b) Stärke der böhmischen Kappengewölbe und ihrer Widerlager	545
c) Ausführung der böhmischen Kappengewölbe	546
18. Kap. Gufsgewölbe und hängende Gewölbe	551
C. Sonstige Decken-Constructions	554
19. Kap. Verglaste Decken und Deckenlichter	554
a) Begehbare Deckenlichter	555
b) Nicht begehbare Deckenlichter und verglaste Decken	563
1) Allgemeines	563
2) In tragende Decken-Constructions eingefügte Deckenlichter	569
3) An Dachstuhl hängende oder in anderer Weise damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken	575
4) Verglaste Decken und Deckenlichter mit besonderen Trag-Constructions	586
Literatur über »Verglaste Decken und Deckenlichter«	592
20. Kap. Decken aus Wellblech und aus <i>Lindsay</i> -Trögen	593
21. Kap. Verschiedene Decken-Constructions	595
Berichtigungen	603

Verzeichnifs

der in den Text eingestetzten Tafeln.

Zu Seite 113: Zeichnerische Darstellung der Normal-I-Eisen für die Unterfuchung ihrer Tragfähigkeit unter lothrechter Belastung.

- » » 198: Stabilitäts-Unterfuchung eines symmetrischen Tonnengewölbes und seines Widerlagers.
- » » 298: Anlage von Kappengewölben zwischen Gurtbogen.
- » » 363: Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrischen Kreuzgewölbes über quadratischem Grundriß.
- » » 367: Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrischen Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundriß.
- » » 370: Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Schwalbenschwanz-Verband.
- » » 376: Stabilitäts-Unterfuchung des Gratbogens eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Kufverband.
- » » 378: Stabilitäts-Unterfuchung des Widerlagers für ein cylindrisches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.
- » » 445: Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen über rechteckigem Gewölbefelde.
- » » 459: Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.
- » » 482: Statifche Unterfuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.
- » » 486: Statifche Unterfuchung eines Strebebogens unter Bertückfichtigung des Winddruckes.

2. Abschnitt.

Nach oben begrenzende Constructionen.

Die durch die Gebäude geschaffenen, bzw. in denselben vorhandenen Räume werden nach oben in der Regel durch eine Decke, feltener durch das Dach begrenzt; letzteres bildet in den allermeisten Fällen den obersten Abschluß des Gebäudes. Im vorliegenden Hefte dieses »Handbuches« sollen die Decken, im nächstfolgenden die Dächer behandelt werden.

r.
Vor-
bemerkungen.

Wie bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (S. 3) dieses »Handbuches« gesagt worden ist, kann die Decke raumabschließend oder raumtrennend sein, je nachdem sie den betreffenden Raum nach außen hin abschließt oder denselben von einem darüber gelegenen Räume trennt. Im Verfolg dessen kann man unterscheiden:

- 1) Decken, über denen sich kein benutzter Raum befindet, welche also keinen Fußboden ¹⁾ zu tragen und nur den Zweck der Raumabschließung zu erfüllen haben.
- 2) Decken, über denen ein oder mehrere benutzte Räume vorhanden sind, also Decken, welche letztere Räume nach unten begrenzen und deshalb einem Fußboden ¹⁾ als Unterlage zu dienen haben.
- 3) Decken, welche den Unterbau für einen Altan, eine Terrasse etc. bilden.

Die Construction der Decken ist eine sehr mannigfaltige. Sie lassen sich in dieser Hinsicht in drei Gruppen trennen:

- 1) Balkendecken oder Decken, deren hauptsächlich tragende Constructionstheile von sog. Balkenträgern ²⁾ gebildet werden;
- 2) Gewölbte Decken, welche von steinernen Gewölben gebildet werden, und
- 3) Decken, die aus anderen Baustoffen, bzw. in anderer Weise construirt sind.

¹⁾ Die Fußböden werden, obigen Ausführungen entsprechend, im vorliegenden Abschnitt nicht zu besprechen sein. Es giebt Fußböden, die nicht auf einer Decken-Construction aufrufen, und andererseits Decken, auf denen keinerlei Fußboden lagert. Ueber Construction und formale Ausbildung der Fußböden ist in Theil III, Band 3, Heft 3 dieses »Handbuches« das Erforderliche zu finden; hier wird der Fußboden-Construction nur in so fern zu gedenken sein, als Decken die Unterlage für Fußböden bilden können.

²⁾ Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte dieses »Handbuches«, Art. 355, S. 315 (2. Aufl.: Art. 148, S. 125).

A. Balkendecken.

VON GEORG BARKHAUSEN.

- In den nachstehenden Kapiteln wird mit der Betrachtung der Balkendecken begonnen, weil diese — wenn man etwa von Steinplattendecken abieht — die geschichtlich ältesten und in der Regel auch in Construction und Ausführung die einfacheren sind. Denfelben folgt die Besprechung der gewölbten Decken, und den Schlufs bilden die anderweitigen Decken-Constructionen, deren Anwendung grofsentheils erst der neueren Zeit angehört.

Literatur

über »Balkendecken im Allgemeinen«.

Parallèle entre les planchers en fer et les planchers en bois, au point de vue de leur prix et de leurs dimensions générales. Nouv. annales de la const. 1856, S. 29.

TRÉLAT. *Comparaison entre les planchers en fer et les planchers en bois. Nouv. annales de la const.* 1856, S. 104.

LIGER, F. *Pans de bois et pans de fer.* Paris 1867.

Prix comparatif des planchers en fer et des planchers en bois. Gaz. des arch. et du bât. 1873, S. 100.

STROHMAYER, L. Vergleich der üblichen Decken-Constructionen. *Wochschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1877, S. 243, 247, 251.

STACH, F. Ueber Deckenconstructionen. *Wochschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1878, S. 58.

Les pans de fer et les pans de bois. Moniteur des arch. 1878, S. 33.

I. Kapitel.

Unterstützung der Balkendecken.

Die wichtigste allgemeine Grundregel für die Unterstützung der Balkendecken befagt, dafs jeder tragende Theil eine genügende Auflager-Grundfläche erhalten mufs, um in ihr eine der Tragfähigkeit der unterstützenden Theile entsprechende Belastung der Flächeneinheit zu ermöglichen.

Die Unterstützung erfolgt durch die Gebäudewände oder durch Freistützen.

a) Unterstützung durch Gebäudewände.

2.
Steinerne
Wände.

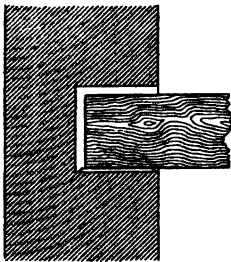
Die Gebäudewände können ganz in Stein, in Fachwerk, in Holz etc. ausgeführt sein.

Bei ganz steinernen Wänden sind bezüglich der Bestimmung der Gröfse der Auflagerflächen für die Decken tragenden Theile diejenigen Einheitsbelastungen mafsgebend, welche als zulässige in Theil I, Band I, zweite Hälfte (Art. 281,

S. 247³⁾, Theil III, Band I (Fußnote 104, S. 196⁴⁾ und Band 2, Heft I (Abth. III, Abschn. I, A, Kap. 11, a: Wandstärken) dieses »Handbuches« angegeben sind.

Gewöhnlich wird angenommen, daß sich der Druck der die Decke tragenden Theile gleichförmig über die Lagerfläche vertheilt. In der That wird aber diese Vertheilung durch die Durchbiegung der Träger unmöglich gemacht, welche stets eine Mehrbelastung der Auflager-Vorderkante bewirkt. Eine derartige Kantenbelastung des Mauerwerkes ist aber schädlich, und deshalb ist es bei schwer belasteten Decken, wo die Auflagerflächen nicht — wie in den gewöhnlichen Fällen — aus praktischen Rücksichten größer gemacht sind, als sie streng genommen zu sein brauchten, rathsam, die tragenden Theile, etwa Balken, auf ein Bohlenstück oder eine Platte von Cementmörtel zu lagern, deren Vorderkante um einige Centimeter von der Mauerkante, diese entlastend, entfernt bleibt

Fig. 1.

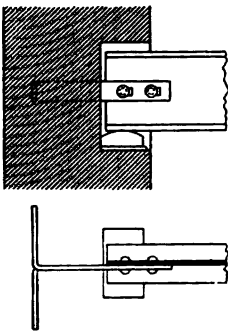


(Fig. 1). Besonders häufig tritt bei eisernen Trag-Construktionen in Folge der hohen Festigkeit des Eisens, gegenüber der des Mauerwerkes, der Fall ein, daß zur Erzielung einer genügenden Lagerfläche am Träger selbst, bei der meist geringen Breite des letzteren, ein übermächtig langes Stück in die Wand gesteckt werden müßte, wodurch die Wand geschwächt, der Träger unnötig lang und die Druckvertheilung erheblich ungleichmäßiger wird, als bei kurzer Lagerung. In solchen Fällen wird es nöthig, eine besondere Lagerplatte zwischen Träger und Mauerwerk einzulegen, welche aus Gusseisen nach

Fig. 2 oder nach Fig. 588 (S. 216⁵⁾ in Theil III, Band I dieses »Handbuches« auszubilden ist. Zweck der Platte ist, die zu große Auflagerlänge durch Verbreiterung des Lagers zu verkürzen; auch diese Platte soll um einige Centimeter von der Mauer-

kante entfernt bleiben. Alle solche Platten sind zunächst auf Keilen 1,5 bis 2,0 cm hoch zu verlegen und dann mit Cement zu vergießen.

Fig. 2.



Die Verbesserung der Druckvertheilung kann auch durch eine unter allen Trägerköpfen der Decke in der Mauer entlang laufende Mauerlatte, auch Mauerbank, Raftlade, Rostlade oder Rostschließe genannt, erzielt werden, auf welcher hölzerne Balken verkämmt werden (siehe Fig. 515, S. 179 in Theil III, Band I dieses »Handbuches«⁶⁾). Diefelbe kommt ausschließlich bei hölzernen Tragwerken vor und hat hier den Vortheil, daß das Verzimmern der hölzernen Träger (Balkenlagen) durch Anordnung dieser einrahmenden Hölzer an Genauigkeit, weil an Bequemlichkeit gewinnt. Andererseits

werden aber die Wände durch die durchlaufende Nuth, welche für die Einlagerung der durchgehenden Latte ausgepart werden muß, in höchst bedenklicher Weise geschwächt. Es empfiehlt sich daher die Verwendung der Mauerlatte — abgesehen von der Benutzung als Entlastungsträger über Oeffnungen oder sonstigen schwachen Stellen der Mauern — auf solche Fälle zu beschränken, in denen sie ohne Herstellung einer Nuth entweder auf einen Mauerabsatz — bei Verstärkung der Wände —

³⁾ 2. Aufl.: Art. 77, S. 53.

⁴⁾ 2. Aufl.: Fußnote 113, S. 220.

⁵⁾ 2. Aufl.: Fig. 605 u. 606, S. 245 u. 246.

⁶⁾ 2. Aufl.: Fig. 528, S. 194.

oder auf eine Maueroberfläche — bei Dachbalkenlagen — verlegt werden kann; namentlich für den letzteren Fall ist ihre Verwendung behufs Vertheilung der Dachlasten zu empfehlen. Auch die Mauerlatte muß mit der Aufsenkante etwas von der Mauerkannte entfernt bleiben.

In den meisten Fällen haben die Decken-Tragwerke neben der Aufgabe, die Deckenlasten aufzunehmen, noch die der gegenseitigen Verankerung der Gebäudewände zu erfüllen, zu welchem Zwecke dann zwischen den Trägerenden und den Wänden eine Verbindung nach Art von Fig. 3, 4, 5, 6 u. Fig. 514, 515, 516 (S. 179) in Theil III, Band 1 dieses »Handbuches« ⁷⁾ hergestellt werden muß. Diese Verbindungen können mit geringen Abänderungen auch für eiserne Träger verwendet werden; eine einfache derartige Anordnung stellt Fig. 2 dar. Bei schweren Trägeranordnungen erfolgt diese Verbindung gewöhnlich in der durch Fig. 602 (S. 224 ⁸⁾) im gleichen Bande dargestellten Weise, indem man eine untere Rippe der Lagerplatte, in welcher der Träger unbeweglich befestigt ist, nach unten in das Mauerwerk greifen läßt und hier vergießt. Voraussetzung ist hierbei, daß das Mauerwerk zum Einstemmen der erforderlichen Nuth fest genug ist. Diese Art der Befestigung wird aber nach dem an der bezeichneten Stelle Gefagten dann für die Wände gefährlich, wenn die Träger lang und erheblichen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, weil die Mauern dann durch die Längenänderungen der mit ihnen fest verbundenen Träger hin und her bewegt werden. In solchen Fällen muß man die Verankerung der Wände durch die Deckenträger aufgeben und die Wandstärken nöthigenfalls unter Anfügen von Strebepfeilern so bemessen, daß die Wände für sich hinreichend standfest sind. (Siehe Theil III, Bd. 1 [Abth. III, Abchn. 1, A, Kap. 11, b: Wandverstärkungen] dieses »Handbuches«.)

Bei Feuersbrünsten wurde mehrfach der Einsturz der Gebäude dadurch hervorgerufen, daß die Längenausdehnung der an den Enden fest eingemauerten eisernen Träger in Folge des hohen Wärmegrades die Mauern nach außen umwarf. Es ist daher nothwendig, den Enden eiserner Träger genügend freies Spiel zu lassen, d. h. das Mauerwerk vom Trägerende zurückzusetzen und die Bolzenlöcher etwaiger Ankeranschlüsse länglich zu gestalten (Fig. 2). Das Maß der Ausdehnung berechne man für Eisen und Stahl nach dem Ausdehnungsverhältnisse 0,0000123 für 1 Grad C. Wärmezunahme und mache ferner noch die Annahme, daß die ganze Längenänderung an einem Trägerende zum Austrage kommt.

Da die Deckenträger sich gleichmäßig über die ganze Länge der Mauern vertheilen müssen, so ist die Lagerung einer gewissen Anzahl derselben über den Maueröffnungen des unteren Geschosses im Allgemeinen nicht zu umgehen. Sind diese schmal, z. B. gewöhnliche Fenster eines Wohnhauses, so kann man die Deckenträger unbedenklich, wie es gerade bequem erscheint, über dem Schlussbogen der Oeffnung lagern. Werden die Oeffnungen aber weit, z. B. Einfahrten, Schaufenster u. dergl., so ist für den Abschluß mittels Wölbbogen meist keine genügende Höhe vorhanden; auch würden die bedeutenden Lasten Bogenstöße bewirken, für welche die Widerlager nicht vorhanden sind. Man lege dann zunächst Träger über diese Oeffnungen, welche die Last der Deckenträger und dazu häufig noch diejenige der Mauern der darüber liegenden Geschosse zu tragen haben.

In dem Falle, daß die gewölbten Bogen über den Oeffnungen wohl zur Auf-

⁷⁾ 2. Aufl.: Fig. 527, 528 u. 529, S. 194.

⁸⁾ 2. Aufl.: Fig. 618, S. 256 u. Fig. 620, S. 257.

nahme der aufruhenden Mauerlast, nicht aber zu der der Deckenlast stark genug erscheinen, lege man über den Bogen in die Mauer noch einen mauerlattenartigen Längsträger, welcher die Deckenträger aufnimmt. Dieser Träger soll nun aber nicht wie eine Mauerlatte bloß druckvertheilend wirken, sondern er soll die gesammte, über der Oeffnung ruhende Deckenlast aus deren Bereiche auf die Seitenbegrenzungen übertragen; daraus folgt, daß er nicht voll auf dem Bogen untermauert werden darf, sondern beiderseits neben der Oeffnung regelrechte Auflager erhalten, innerhalb derselben aber vom Mauerwerke so weit frei bleiben muß, daß er die seiner Belastung entsprechende Durchbiegung annehmen kann, ohne das Mauerwerk zu berühren.

Bei schwachen und bei stark belasteten Mauern erscheint das Einlagern von Mauerlatten regelmäsig, oft aber auch das Einstecken der Balkenköpfe unzulässig, weil die entstehenden Löcher zu bedeutende Schwächung der Mauer hervorrufen.

In solchen Fällen kann man: 1) die Balken auf ausgekragte Lager aus Backstein, Haufstein oder Eisen lagern, indem man entweder unter jeden Balkenkopf ein Kragstück, bezw. eine Console setzt, oder 2) die Balken mittels eines auf in weiterer Theilung angebrachten Consolen gelagerten Trägers unterstützt (Fig. 3, 5 u. 6) oder

Fig. 3.

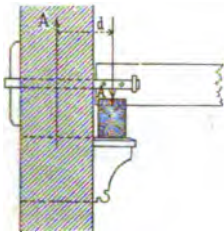


Fig. 5.

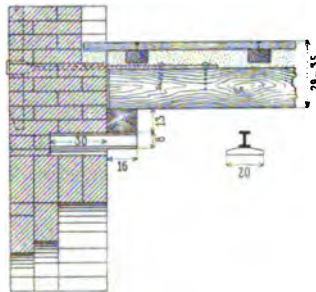


Fig. 4.

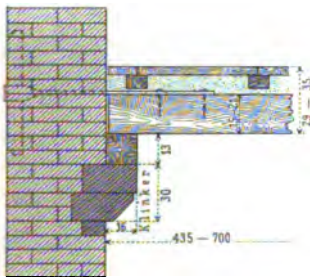
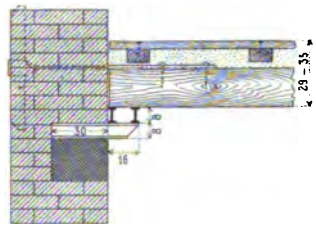


Fig. 6.



3) einige Kragfichten auf die ganze Länge der Mauer vorstrecken (Fig. 4). Bei dieser Art der Lagerung wird allerdings die Wand in so fern ungünstig beansprucht, als das Kräftepaar A (Fig. 3) dieselbe mit der Momentengröße Ad nach innen zu kanten sucht; die Mauer muß also dann stark genug sein, um außer den auf sie wirkenden lothrechten Lasten auch dieses Moment aufzunehmen. Ist aber die Wand — z. B. durch einen aus dem Dachstuhl sich entwickelnden Schub — schon vorwiegend an der Außenkante

belastet, so kann diese die Pressungen an der Innenkante vergrößernde Art der Balkenlagerung sogar günstig für die Wand wirken.

Die Haufstein-Consolen greifen durch die ganze Wandstärke; bei ihnen wie bei den in Backsteinen vorgekragten Schichten soll die Ausladung bis Auflagermitte (A in Fig. 3) die Hälfte der Höhe nicht wesentlich überschreiten.

Eine Verankerung der Wand, wenigstens an einzelnen Balken, wird auch hier regelmäsig ausgeführt (Fig. 3 bis 6).

Die Lagerung hölzerner Balken vor der Wand erfolgt bei geringer Stärke der letzteren auch zu dem Zwecke, die Balkenköpfe, welche bei Einlagerung die ganze Mauerstärke durchdringen würden, nicht mit dem Hirnende der Witterung auszusetzen.

Ausgeführte Beispiele derartiger Lagerung auf Kragstichen und Consolen zeigen Fig. 4, 5 u. 6, welche dem Gymnasial-Convicts-Gebäude in Horn⁹⁾ entnommen sind.

Da die Säle bedeutende Längen (bis zu 23^m) haben, so fürchtete man die bei Einlagerung der Balken der verwendeten Dübeldecke unvermeidliche Schwächung der Mauern und führte daher bei 6,00 bis 7,15^m Saaltiefe die in Fig. 4 dargestellte Kraglagerung in harten Klinkern aus; die Mehrkosten hierfür betragen, einschl. der Lagerschwelle und des Putzens des die Kragleiste verdeckenden Gefimses, für 1 lauf. Meter 4,4 Mark (= 2,2 Gulden.) Bei Saaltiefen von weniger als 6,00^m wurde die Vorkragung in den gewöhnlichen Mauersteinen ausgeführt und kostete dann nur 1,8 Mark (0,9 Gulden) für 1 lauf. Meter.

Ueber den Fenstern liefs sich die Steinvorkragung wegen mangelnder Höhe nicht mehr durchführen; hier wurden daher in 75^{cm} Abstand kurze Abschnitte von I-Trägern Nr. 8 unter Auflagerung auf kleine gußeiserne Druckvertheilungsplatten eingemauert, welche dann die Auflagerchwelle tragen (Fig. 5). Die in Fig. 6 dargestellte Anordnung von eisernen Kragträgern auf Auflagerquadrern, welche als Lagerchwelle ein Paar I-Träger Nr. 8 tragen, wurde wegen der geringeren Höhe in Betracht gezogen, jedoch gegenüber der gewählten Anordnung nach Fig. 4 als zu theuer erkannt.

Die Verankerung solcher Wände, welche mit den Balken parallel laufen, also der sog. Giebelwände, kann durch die Balkenlage nur in viel mangelhafterer Weise erfolgen, als die derjenigen Wände, welche die Balkenköpfe aufnehmen, da der Widerstand der Balkenlage in diesem Sinne lediglich von dem geringen seitlichen Biegungswiderstande der Balken abhängt. Man soll daher solche Wände in der Regel so ausbilden, dafs sie ohne Verankerung sicher stehen, daher namentlich den letzten Träger der Balkenlage nicht in, sondern vor die Wand legen.

Wird gleichwohl in einzelnen Fällen eine solche Verankerung nöthig, so soll man dazu nicht blofs den letzten, sondern wenigstens zwei, wenn möglich drei Balken nutzbar machen, indem man nach Fig. 7 zwei schwache Wechsel in kurzem Abstände von einander einzieht und in deren Mitte den Anker — hier Rundeisen — durch die Balken und die Wand führt. Dabei mufs der letzte Balken fest gegen die Wand abgekeilt sein, was übrigens auch wegen des später zu besprechenden dichten Anschlusses der Balkenlage an die Wand nöthig ist.

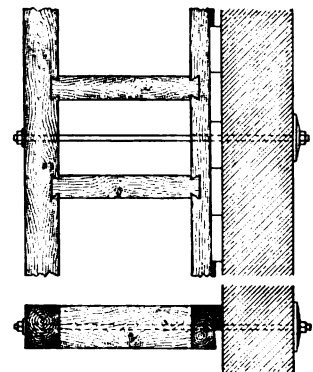


Fig. 7.

Wesentlich wird diese Art der Verankerung durch solche Fußböden und Deckenausbildungen unterstützt, welche eine auf Zug widerstandsfähige Verbindung zwischen den Balken herstellen, also namentlich bei Bretterfußböden und bei der Deckenschalung, da durch solche der seitliche Biegungswiderstand aller Balken für die Verankerung nutzbar gemacht wird.

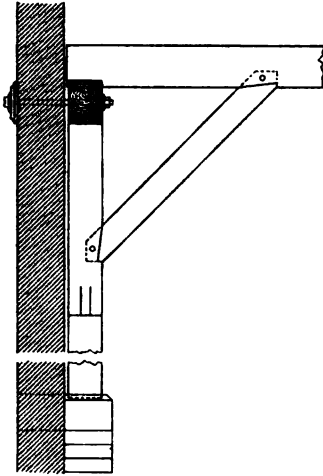
Bei eisernen Balken ändert sich die Anordnung gegen Fig. 7 in nichts Wesentlichem.

Ist nun die Tragfähigkeit der Mauern so gering, dafs sie auch die Lagerung auf Vorkragungen nicht ertragen, so mufs man vor ihnen ein Traggerüst aus hölzernen Stielen mit hölzernen Balken, oder eisernen Stützen mit Eisentragern aufstellen. Letztere werden ganz nach dem in Theil III, Band 1 (S. 184 u. ff.¹⁰⁾ dieses »Handbuches« über Freistützen in Eisen Gefagten behandelt, indem man sie bis auf die unmittelbar auf dem Baugrunde vorzunehmende Gründung hinabführt; erstere stellt man dagegen gern auf einen steinernen Sockel mit Deckquader, um

⁹⁾ Nach: Wochschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887, S. 361.

¹⁰⁾ 2. Aufl.: S. 199 u. ff.

Fig. 8.



das untere Ende über dem Erdboden trocken und unter guter Aufsicht zu halten (Fig. 8). Dabei werden die Stiele gegen den darüber liegenden Längsträger, und — wenn ein Balken über dem Stiele liegt — auch gegen diesen durch Kopfbänder verspreizt. Das untere Stielende wird in den Quader etwas eingelassen oder stumpf aufgesetzt und mittels Dollen unverschieblich gemacht; diese Vorkehrungen sind jedoch bedenklich, wenn Nässe den Stiel erreichen kann. Es ist zweckmässig, zwischen die Hirnfläche des Stieles und den Quader eine 1,5 mm dicke, an Grösse dem Stielquerschnitte entsprechende Bleiplatte einzulegen, welche den Druck auch bei geringen Unebenheiten der Aufstandsflächen gleichförmig vertheilt und zugleich einigen Schutz gegen Feuchtigkeit gewährt.

Bei Wänden aus Holz-Fachwerk erfolgt, wie dies schon in Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abschn. 1, A,

3.
Fachwerk-
wände.

Kap. 6: Wände aus Holz und Stein [Holz-Fachwerkbau], insbesondere unter a [Holzgerippe] ausgeführt worden ist, die Lagerung der Balken zwischen dem Rahmen des unteren und der Schwelle des oberen Geschosses, so dass also die Balkenlage die Wände zweier auf einander folgender Geschosse trennt. Die Balken werden dabei mit Rahmen und Schwelle haken-, kreuz- oder schwalbenschwanzförmig verkämmt, um als Anker für die Wände dienen zu können. Zu beachten ist übrigens nur die Regel, dass die Balken nicht weit von den Stielen des Fachwerkes entfernt liegen sollen, woraus folgt, dass die Stieltheilung der Balkentheilung thunlichst entsprechen sollte. Ueber die Anordnungen, welche zur Verstärkung der Rahmen zu treffen sind, wenn aus irgend welchen Gründen die Balken nicht über die Stiele gelegt werden können, vergleiche die oben angezogene Stelle.

b) Unterstützung durch Freistützen.

In der Regel wird man die Balken einer Decke so legen, dass sie die kleinere Abmessung des zu deckenden Innenraumes frei überspannen. Wird diese aber zu gross, um noch mit den zweckmässig zu verwendenden Balkenmassen überdeckt werden zu können, so muss man für die Balken noch Mittelunterstützungen anordnen.

4.
Freie
Mittelstützen.

Solche Mittelunterstützungen der Balken werden letztere in der Regel rechtwinkelig kreuzen. Da die Balken aber nach der kleineren Raumabmessung gelegt waren, so werden diese Unterstützungen nunmehr die grössere Weite zu überspannen und die grossen von den Balken gesammelten Lasten zu tragen haben. Für diese unterstützenden Träger, welche, je nachdem sie die Balken durch Anhängen oder Auflagern aufnehmen, bezw. Ueberzüge oder Unterzüge heissen, wird man so nach ganz besonders grosser Tragfähigkeit bedürfen; man wird daher häufig in die Lage kommen, die Ueberzüge und Unterzüge in gewissen Abständen ihrerseits wieder durch andere Constructionstheile unterstützen zu müssen.

Diese Unterstützung der Ueber- und Unterzüge erfolgt auf zweierlei Weise, entweder:

1) Von oben, durch Anhängen an den Dachstuhl; diese Unterstützungsart kann in der Regel nur in der Dachbalkenlage erfolgen und wird im nächsten Hefte

(Abth. III, Abschn. 2, unter E: Dachstuhl-Constructions) dieses »Handbuches« behandelt werden; sie läßt den Innenraum vollkommen frei.

2) Von unten durch Auflagerung auf gesondert gegründete Freistützen, deren eiserne Säulen oder hölzerne Stiele die völlig ungestörte Benutzung der Räume bis zu gewissem Grade beeinträchtigen. Ein einfaches Tragwerk dieser Art zeigt Fig. 9. Der ganze Raum ist dabei nur durch zwei Freistützen und den unter der Decke sichtbaren Längsunterzug gestützt, enthält außerdem vielleicht an den kurzen Seiten zwei Wandvorlagen zur Aufnahme der Endauflager des Unterzuges.

Ist das Aufstellen von Freistützen in den Räumen nicht zulässig, auch das

Anhängen an das Dach unmöglich, so bleibt als letzte Anordnung der Unterstützung die Spannung einer größeren Zahl von Unterzügen nach der kurzen Raumabmessung in solcher Theilung übrig, daß die Balken nunmehr der Länge des Raumes nach von Unterzug zu Unterzug gestreckt werden können, wie in Fig. 10. Diese Anordnung zeigt auch das durch Fig. 598 bis 602 (S. 221 bis 226) in Theil III, Bd. I (Art. 319¹¹⁾) veranschaulichte Beispiel 2.

Die Unterzüge werden als Balken oder gegliedert aus Holz oder Eisen nach denjenigen Regeln ausgebildet, welche bezüglich der »Träger« in Theil III, Bd. I (Abth. I, Abschn. 2, Kap. 3 u. Abschn. 3, Kap. 7) dieses »Handbuches« gegeben sind.

Die Unterzüge können auf die Freistützen in gewöhnlicher Weise im Schwerpunkte des Stützenquerschnittes aufgelagert werden, wenn die Stützen nur durch ein Gefchoß reichen. Müssen sie durch mehrere Gefchoße durchgeführt werden, so ist es für Eisen-Constructions in der Regel, für Holzbauten stets unzulässig, Unterzug und Balken oder einen von beiden auf die untere Stütze zu lagern und dann die obere Stütze auf die Träger zu setzen, da hierdurch die Lastübertragung in den Stützen verschlechtert und die Steifigkeit der oft sehr hohen Anordnung gegen seitliche Verdrückungen wesentlich beeinträchtigt wird. Bei Holz ist diese Unterbrechung der Stützen besonders gefährlich, weil hier durch das Einlegen von Querholz in das Langholz der Freistützen erhebliche Sackmasse entstehen. Hätte z. B. ein Lagerhaus 5 Obergefchoße und in jedem derselben Unterzüge von 32 cm und Balken von 25 cm Höhe, welche die Freistützen unterbrechen, so befänden sich in der Stützung des Fußbodens des obersten Gefchoßes $5 (32 + 25) = 285$ cm Querholz; nimmt man nun an, daß das Querholz seine Höhe durch Eintrocknen und Zusammenrücken durch die Freistützenbelastung auch nur um 3 Procent verringert, so entstände im obersten Gefchoß schon ein Sackmaß von $3 \frac{285}{100} = 8,55$ cm, welches den Boden dieses Gefchoßes ernstlich gefährden würde.

¹¹⁾ 2. Aufl.: Art. 329 u. Fig. 616 bis 620 (S. 253 bis 259).

Fig. 9.

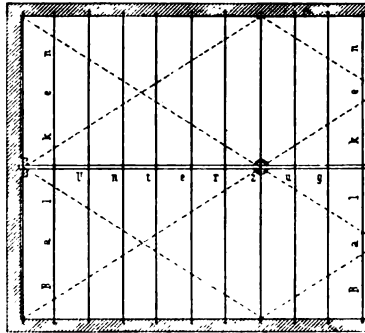
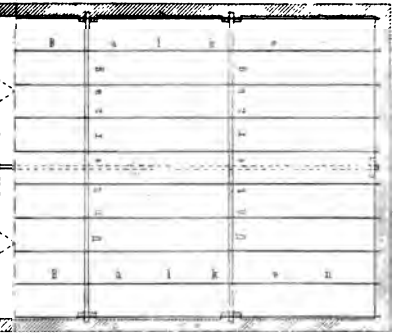
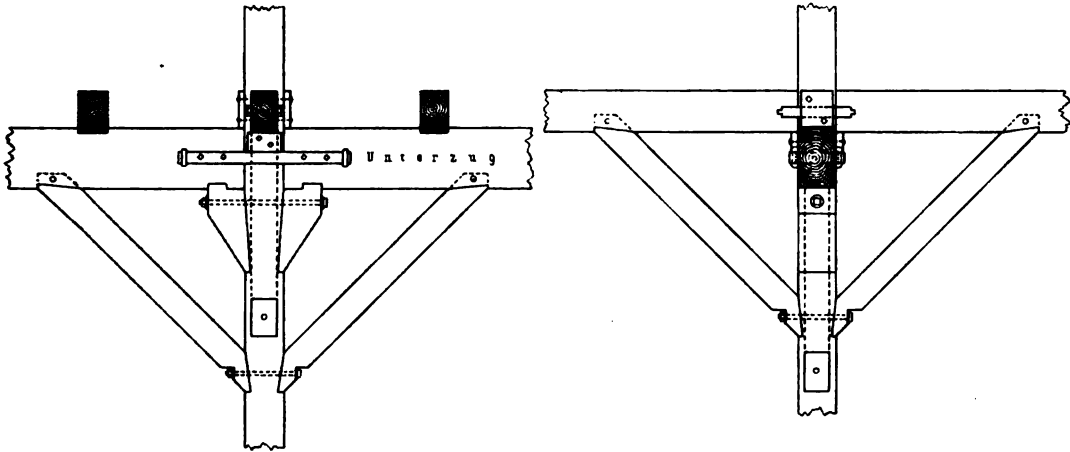


Fig. 10.



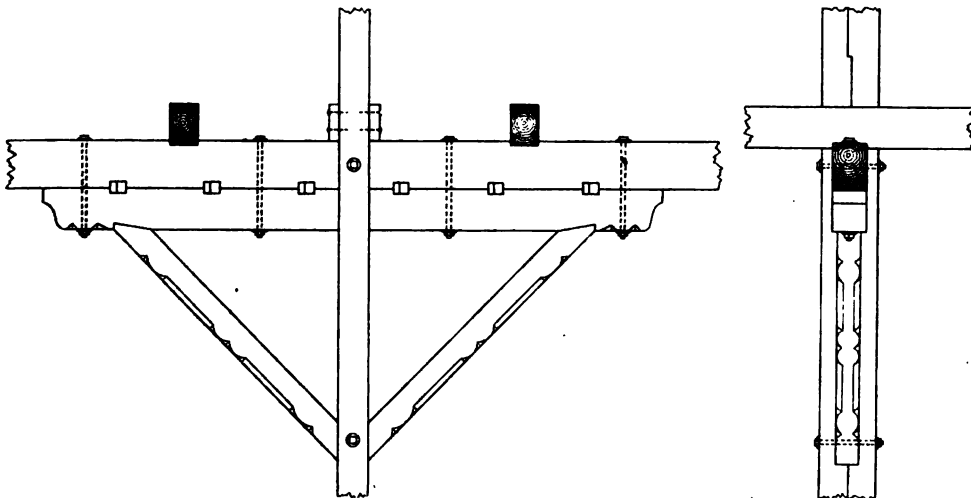
Beispiele der Unterstützung von Unterzügen und Balken mittels hölzerner Freistützen zeigen Fig. 11 bis 15. In Fig. 11 ist der Unterzug aus einem starken Balken, nöthigenfalls verzahnt oder verdübelt, gebildet, welcher mitten vor die durchgehende hölzerne Freistütze trifft, die man wohl auch Stiel, Pfoften oder Ständer nennt. Der Unterzug mußte daher, um den Stiel nicht durch Zapfen zu

Fig. 11.



schwächen, mittels angebolzter, verfatzter Knaggen unterstützt werden. Um jedoch nicht die Sicherheit der Lager dem einen Knaggenbolzen allein anzuvertrauen, sind die Enden der Unterzugstücke noch durch zwei mit Krampen befestigte Flachschienen verbunden. Außerdem sind zwei Kopfbänder zur Versteifung des Stieles eingesetzt, welche im Stiele aber bloß Verfassung, keine Zapfen erhalten. Wie der Unterzug von der einen, stößt von der anderen Seite ein Balken mitten auf den Stiel, welcher gegen diesen mittels zweier Kopfbänder und angenagelter Bohlenstücke abgestützt ist; die beiden Balkenenden sind durch zwei Eisenklammern verbunden. In Balkenhöhe sind noch zwei Bohlenstücke an den Stiel genagelt, um die Fußbodenbretter lagern zu können. Obwohl der Stiel hier ungeschwächt durch-

Fig. 12.



geht, ist die Anordnung doch eine mangelhafte, weil das Durchschneiden sowohl des Unterzuges, wie des Balkens die wirksame Verankerung der Stiele und Wände wesentlich beeinträchtigt. Das Durchschneiden des Unterzuges hat außerdem die Folge, daß die Ausnutzung der Vortheile unmöglich wird, welche durch Anordnung überkragender Gelenkträger erreicht werden können.

Auch in Fig. 12 ist der Unterzug einfach; um ihn nicht durchschneiden zu müssen, ist der Stiel doppelt (verschränkt) angeordnet. Unterzug und Sattelholz liegen in einer Durchbrechung des Doppelstieles, dessen Seitentheile gleichwohl unmittelbare Lastübertragung von oben nach unten ermöglichen. Das Zusammentreffen von Balken und Stiel ist dadurch vermieden, daß der Stiel in die Mitte einer Balkentheilung gestellt wurde. Die Enden der auf den Stiel stoßenden Fußbodenbretter werden durch angenagelte Bohlenstücke unterstützt.

Eben so ist in Fig. 13 der Stiel doppelt mit Verschränkung angeordnet; er nimmt

den Unterzug, welcher in der Ueberkreuzung von beiden Seiten ausgeschnitten ist, in einer Durchbrechung auf, so daß dieser, wenn auch geschwächt, durchläuft. Auch der den Stiel treffende Balken ist in diesem Falle nicht durchgeschnitten; er ist vielmehr doppelt angeordnet, umfaßt mittels Ausnehmungen den Stiel von beiden Seiten und gestattet zugleich die Lagerung der Bretterenden am Stiele; der Stiel ist nun offenbar nach allen Seiten wirksam verankert. In Folge der günstigeren Lagerung aller Theile ist von der Anbringung von Kopfbändern abgesehen. Mängel dieser Anordnung sind die rechteckige Stielform, welche mit Rücksicht auf Zerknicken dem Quadrate gegenüber einen Mehraufwand erfordert, und die Schwächung

Fig. 13.

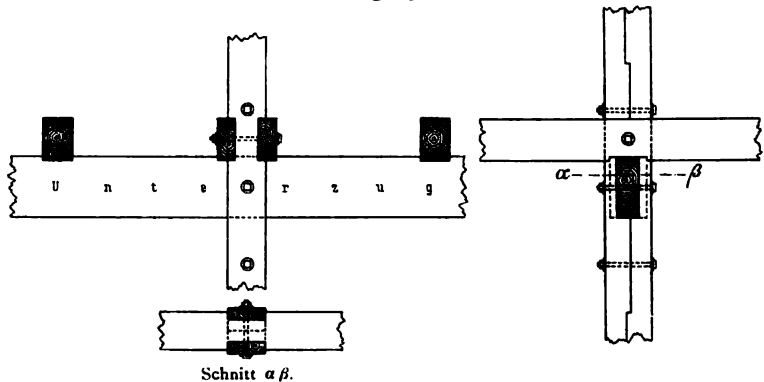
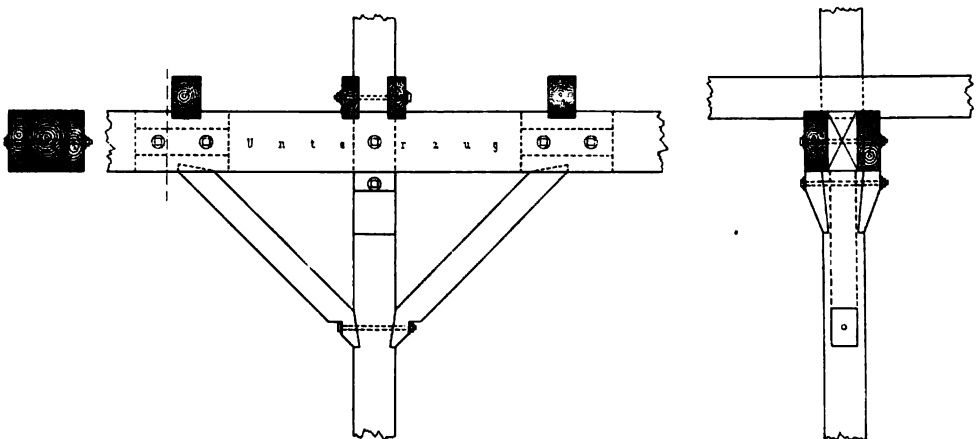


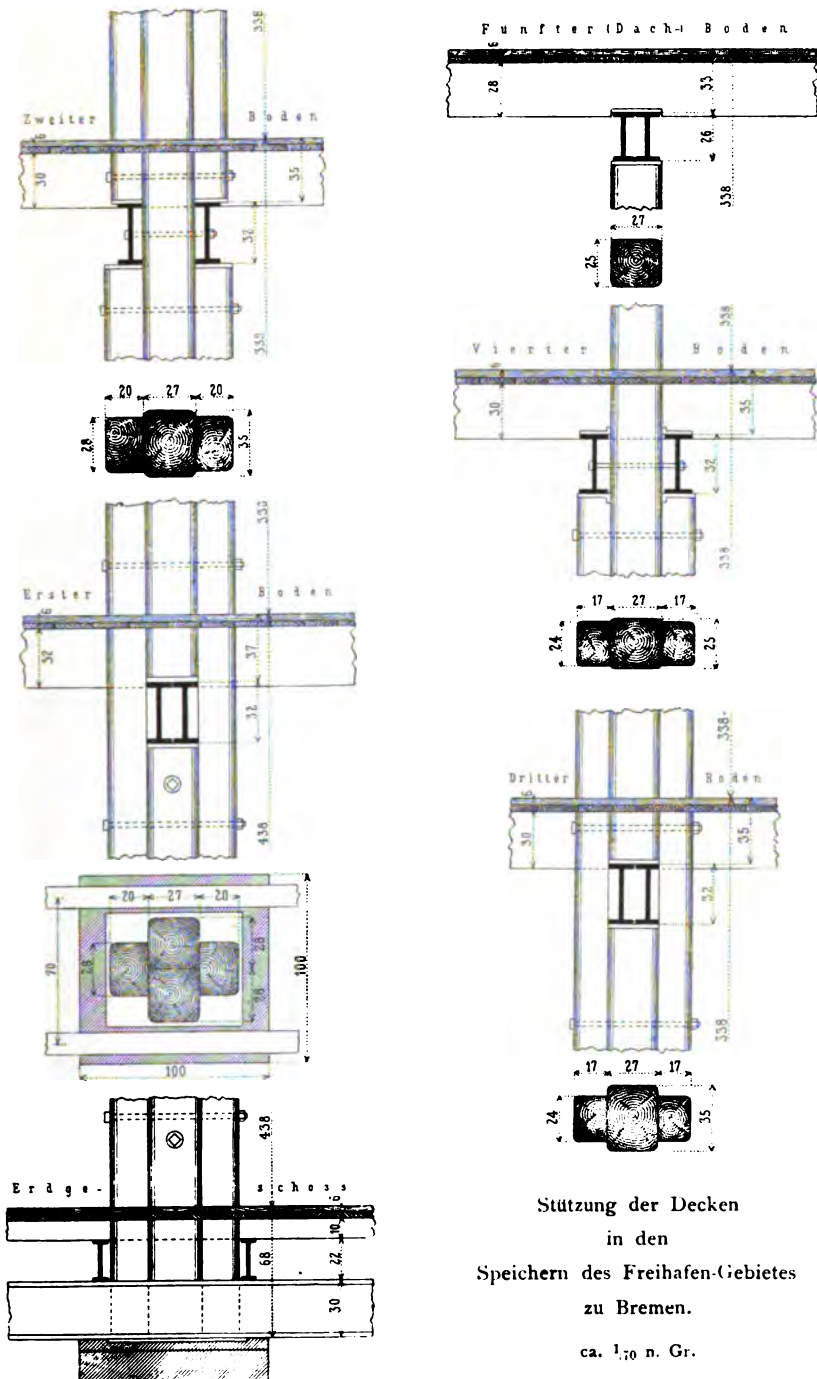
Fig. 14.



des Unterzuges in der Stütze, der Stelle eines seiner größten Biegemomente, wenn er continuirlich oder überkragend angeordnet ist.

Wesentlich kräftiger kann man den Unterzug für schwere Decken ausbilden, wenn man sowohl ihn, als auch den Balken doppelt anordnet (Fig. 14). Er ist in eine flache Ausklinkung des Stieles gelegt, im Uebrigen durch angebolzte Knaggen

Fig. 15.



unterstützt und somit über der Stütze ganz ungeschwächt. Die beiden Balkenhälften umfassen den Stiel auch hier beiderseits mit Ausschneidungen; zur Absteifung sind zwischen Stiel und Unterzug wieder Kopfbänder eingefügt, welche unten auf den Stiel treffen, oben aber in den Zwischenraum des doppelten Unterzuges. Um hier Verfatzung anordnen zu können, wurde zwischen die beiden Unterzugshölzer ein Klotz eingefügt, welcher nach Fig. 13 (Querschnitt) beiderseits mit Ohren in die Hölzer eingreift, um in lothrechtem, wie wagrechtem Sinne unter dem Drucke des Kopfbandes gegen Verschiebung gesichert zu sein.

Von den vorggeführten vier Anordnungen in Holz (Fig. 11 bis 14) entspricht die letzte den zu stellenden Anforderungen am besten.

Fig. 15 zeigt eine Holzstiel-Durchbildung mit eisernen Unterzügen aus den Lagerhäusern des Freihafengebietes in Bremen, welche in äußerst geschickter Weise dem fünfgeschossigen Stiele ein sicheres Gefüge giebt, im Querschnitte den nach unten zunehmenden Lasten genau angepaßt ist und die Kraftübertragung aus den Unterzügen in den Stiel in der Schwerlinie des letzteren fast vollkommen sichert. Letztere wichtige Eigenschaft geht namentlich der Anordnung in Fig. 11 völlig ab; denn eine Lastabgabe aus dem Unterzuge an den Stiel in dessen Schwerlinie ist nur in dem einen Falle denkbar, daß die Auflagerdrücke der beiden an den Stiel stoßenden Unterzügen genau gleich sind.

Bei der Bremer Anordnung in Fig. 15 werden zwar die Stielhölzer durchgeschnitten und die Unterzüge zwischen dieselben eingefügt; hier ist dies aber unbedenklich, weil in jedem Boden mindestens einer der fest mit einander verbolzten Stieltheile ungeschwächt durchgeht und zur Versteifung der durchgeschnittenen dient, weil ferner die eisernen Unterzüge einer meßbaren Zusammendrückung nicht ausgesetzt sind. In einer Länge hätte man die Stiele nur unter Ueberwindung großer Schwierigkeiten aufstellen können, und die gewählte Anordnung ergibt eine vorzügliche Stoßanordnung.

Unten ist der Stiel, wie jener in Fig. 8, auf einen Mauerpfeiler im Keller gesetzt; es ist jedoch zunächst eine in Cement verlegte Eisenplatte eingelegt, um eine ebene Aufstandsfläche und gute Druckvertheilung zu erreichen, und eben so treten die Stielhölzer in den übrigen Geschossen nicht unmittelbar gegen die Unterzüge, sondern gegen Eisenplatten, welche auch hier zur Nutzbarmachung des ganzen Holzquerschnittes und zur sicheren Vereinigung der neben einander liegenden Hälften doppelter Unterzüge dienen.

Ein wesentlicher Grund für die Wahl der Eichenholzstiele war die Feuerficherheit. Nach Versuchen der Londoner Feuerwehr kohlte ein Eichenstiel zwar außen an, brennt aber wegen Mangels an Sauerstoff nicht eigentlich. Ist er dann durch eine harte Kohlenfchicht geschützt, so bleibt er bei Hitze-graden, bei denen guß-, schweiß- oder flusseiserne Stiele zu Grunde gehen würden, noch stundenlang tragfähig¹²⁾.

6.
Gußeiserne
Freistützen.

Auch gußeiserne Freistützen können zur Unterstützung sowohl hölzerner, wie eiserner Unterzüge oder Balken verwendet werden. Die allgemeinen Grundsätze sind hier dieselben, wie bei Holz-Construktionen; vor Allem soll auch hier der ungeschwächte Stützenquerschnitt thunlichst ohne Abweichung von der Lothrechten durchgeführt werden. Ganz besonders ist vor starker Ausladung belasteter Kapitelle und Fußprofile zu warnen, da solche unter der Last bereits thatsächlich abgesichert sind und so Anlaß zum Einsturze wurden, wobei sich die Stützentheile, wie die Auszüge eines Fernrohres, in einander schoben. Sockelprofile sollen daher in schlanker Ausweitung nur wenig ausladen (Fig. 16). Sind aus ästhetischen Rücksichten starke Ausladungen verwendet worden, so müssen dieselben entweder durch Ummantelung hergestellt oder im Inneren durch nach dem Mittelpunkte gerichtete Versteifungsrippen gegen Bruch gesichert werden (Fig. 17 u. 23). Ausladende

¹²⁾ Siehe auch Theil III. Band 6 (Abth. III, Abchn. 6, Kap. 1: Sicherungen gegen Feuer) dieses »Handbuches«.

Kapitelltheile sollen niemals die obere Stütze, sondern höchstens die Last des Unterzuges ihres Geschosses aufnehmen. Dies wird dadurch erreicht, daß man, wie z. B. in Fig. 16, den Schaft des oberen Säulenfußes so tief in das Kapitell hineinsteckt, daß er unmittelbar auf den Schaft des unteren Stützentheiles trifft; dabei sind geringe, schlank zu bildende Ausweitungen wegen der Sockelausladung am oberen Theile meist nicht zu vermeiden.

Auf die Mafsregeln zur Sicherung der Gufsstützen gegen Feuersgefahr, Luft- oder Wasserstrom im Inneren, Umhüllung durch feuerfeste Körper etc., welche noch in Theil III, Band 6 (Abth. V, Abschn. 1, Kap. 1, unter a) dieses »Handbuches« zu besprechen sein werden, möge hier noch hingewiesen werden,

so wie auch auf die Nothwendigkeit der Fürsorge für sichere Wasserabführung aus dem Inneren, selbst dann, wenn ein Eindringen von Wasser in die fertige Stütze ausgeschlossen ist. Es ist der Fall vorgekommen¹³⁾, daß sich die Stützen eines Hohlbaues vor Aufbringen des Daches bei anhaltendem Regen mit Wasser füllten. Der Bau blieb im Winter im Rohbau stehen, und im Frühjahr fanden sich dann mehrere der Stützen in der Formnaht völlig aufgesprengt. Man sehe daher in allen hohlen Gufsstützen Abzugslöcher für Wasser so vor, daß eine Ansammlung desselben im Inneren überhaupt unmöglich ist.

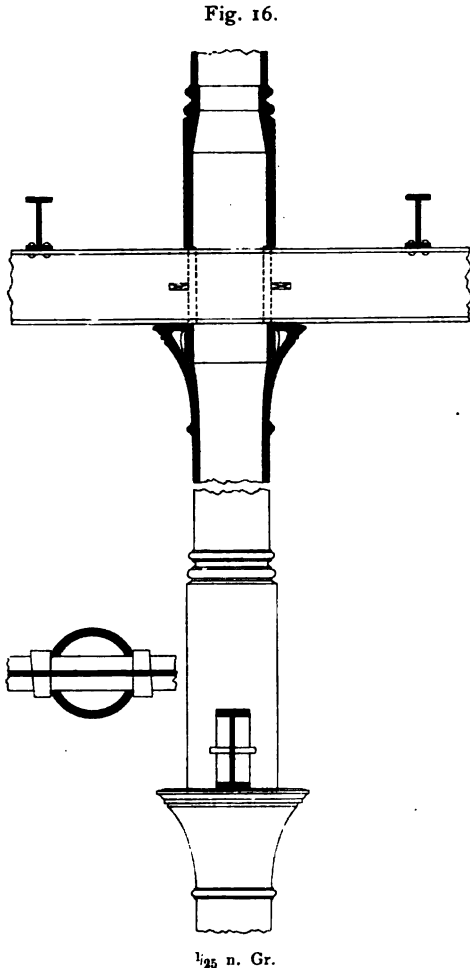


Fig. 16 zeigt eine Freistütze, welche einen einfachen Unterzug und darauf ruhende Balken von I-förmigem Querschnitt trägt. Es ist hier angenommen, daß eine Feldmitte der Balkentheilung auf die Stütze trifft, welche somit nur mit dem Unterzuge in unmittelbarer Berührung steht. Letzterer ist nun durch ein Loch am Untertheile der oberen Stütze gesteckt und auf der Wandstärke der unteren Lochbegrenzung gelagert; zwischen dem scheinbaren Kapitell und dem Unterzuge ist dagegen ein offener Spielraum geblieben (eben so auch in Fig. 23) und die Last wird somit unmittelbar an die Stütze abgegeben. Die Kapitellbildung ist lediglich der Ausschmückung halber erfolgt und könnte aus Zink oder in ganz schwachem Gusse hergestellt sein. Der durchgesteckte Unterzug ist durch beiderseits vorgesetzte Keile gegen die Stütze unverschieblich gemacht.

Von besonderer Wichtigkeit ist vollkommener Schluß der Fuge zwischen beiden Stützentheilen, welche zur Verhinderung selbst kleiner Verschiebungen falzförmig gestaltet ist; die Fugenflächen müssen bei guter Ausführung in beiden Theilen abgedreht sein, und dichten Schluß erreicht man, indem man bei leichten Stützen Blei-, bei schwereren Kupferringe einlegt.

Diese Construction gestattet durchlaufende Anordnung des einfachen Unterzuges,

¹³⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 608.

hat aber den für schwere Stützen sehr erheblichen Mangel, daß der Stützenquerschnitt durch den durchgesteckten Träger erheblich geschwächt wird und daß bei unvermeidlichen Durchbiegungen des Unterzuges eine excentrische Belastung der Stütze auf dem einen oder dem anderen Lagerrande entstehen muß. Die Balken sind auf den Unterzug genietet; der Querschnitt des letzteren muß also unter Abzug der Nietlöcher berechnet werden. Die Gufsform aller Stützentheile ist, abgesehen von der Kapitellausladung, sehr einfach; in letzterer sind Versteifungsrippen angedeutet, welche jedoch nur zur Ausführung kommen, wenn das Kapitell Lasten aufzunehmen hat.

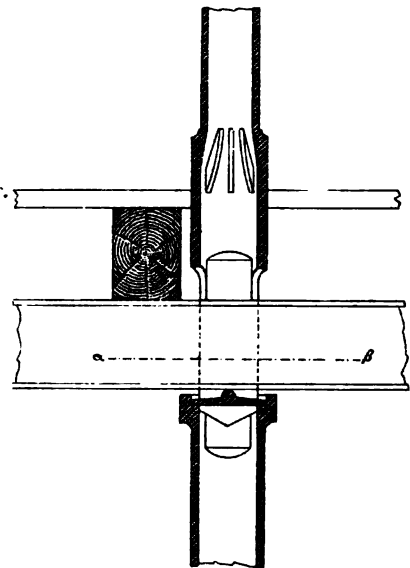
Die bezüglich der Anordnung in Fig. 16 gerügten Mängel, excentrische Lagerwirkung des Unterzuges bei Durchbiegungen und Schwächung der Stütze, sind in der Ausführungsweise nach Fig. 17 vermieden, bzw. abgeschwächt.

Um die Kantenlagerung des durchgesteckten Unterzuges auf dem unteren Stützentheile bei Durchbiegung zu vermeiden, ist in den Hohlraum des oberen auf den Rand des unteren zunächst eine Schneidenplatte von tragfähigem T-Querschnitte gelegt, welche die Uebertragung des Lagerdruckes vom Unterzuge selbst nach dessen Durchbiegung genau in der Stützenmitte sichert. Die Schwächung des oberen Stützentheiles durch die Oeffnung für den Unterzug ist durch Verdickung des übrig gebliebenen Wandtheiles ersetzt. Damit aber der volle Querschnitt dieser Verstärkung durch volles Aufsetzen der Unterfläche wirklich zur Wirkung gelangt, ist dieselbe Verstärkung auch auf einige Länge im Kopfe des unteren Stützentheiles niedergeführt.

Eine ganz ähnliche Anordnung für schwerere Stützen mit noch besserem Ausgleiche der Schwächung des oberen Theiles zeigt Fig. 23. Um die Gufsmodelle zu vereinfachen, ist hier für das Durchstecken des Unterzuges ein gefondertes Gufsstück zwischen die untere und obere Stütze eingeschaltet, welches durch halbkreisförmiges Herumführen der drei Verstärkungsrippen oben völlig geschlossen ist. Auch unten schließt sich das Zwischenstück wieder zum vollen Ringe, so daß es zu einer guten Aufnahme der oberen Stützenlast oben und zu guter Vertheilung dieser und der Unterzugslast auf den Ringquerschnitt unten befähigt erscheint. Die Trägerplatte mit gewölbtem Schneidenaufleger mußte daher hier auf den Unterrand der zum Durchstecken des Unterzuges bestimmten Durchbrechung des Zwischenstückes gelagert werden.

Die Anordnung in Fig. 23 dürfte selbst für die schwersten Stützen allen Anforderungen genügen, so lange das Verhältniß der Unterzugsbreite zum Stützendurchmesser das Durchstecken des Unterzuges gestattet; doch ist in dieser Beziehung zu betonen, daß man durch geeignete Formung des Zwischenstückes auch das

Fig. 17.



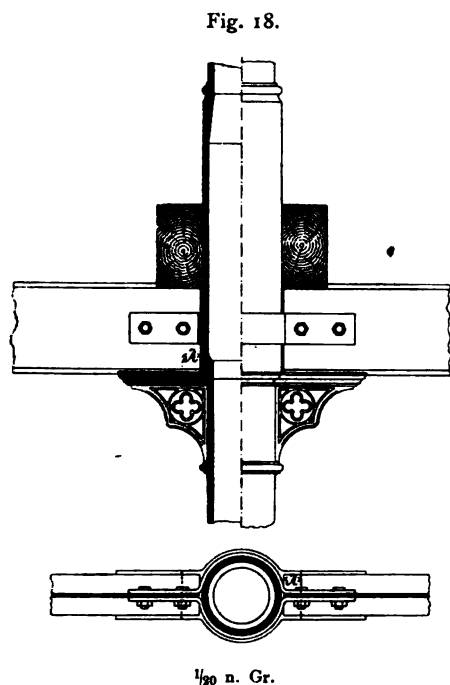
Schnitt α β.

Vom Gasthof „Englischer Hof“ zu
Hildesheim. — $\frac{1}{25}$ n. Gr.

Durchstecken von Unterzügen ermöglichen kann, deren Breite verhältnißmäßig größer ist, als in Fig. 23.

Auch wenn der Unterzug auf der Stütze durchschnitten fein soll, statt durchzulaufen, kann man die Anordnung in Fig. 23 mit Vortheil verwenden, da die Lagerung der beiden, schwach in der Höhenmitte zu verflachenden Enden eines durchschnittenen Unterzuges auf die flach gewölbten Schneidenplatten eben sowohl möglich ist, wie die eines ununterbrochen durchlaufenden Trägers.

Die Schwächung der Stütze ist in Fig. 18 vermieden, wo in Folge dessen aber der Unterzug nicht durchlaufen kann, sondern von beiden Seiten auf angegossene Confolen gelagert werden muß; es geht so die Möglichkeit verloren, den Unterzug durchlaufen zu lassen, und außerdem wird die Stütze in Folge der Lagerung der beiden Unterzugenden excentrisch beansprucht, wenn der eine Unterzug schwerer belastet ist, als der andere (wie in Fig. 11). Die Längsverbindung ist mittels um die Säule gelegter Flachlaschen hergestellt.



Die Confolen sind in dem durch Fig. 18 dargestellten Falle angegossen, werden aber zur Vermeidung der schwierigen Gußform häufig gefondert hergestellt und angeschraubt. Damit die Lastübertragung weit von der Stützenmitte erfolgen kann, sollen die Confolen so kurz sein (Länge λ in Fig. 18), wie die erforderliche Lagerfläche des Trägers gestattet. Werden die Confolen aus ästhetischen Rücksichten länger gemacht, so empfiehlt es sich, die eigentliche Lagerfläche dicht an der Säule erhöht herzustellen, damit die äußeren Confolentheile der Last sicher entzogen werden

(in Fig. 18 nur bei genauer Betrachtung zu erkennen). Um seitliche Verschiebungen zu verhüten, ist auf der Confolenplatte eine der Unterzugsbreite entsprechende flache Nuth hergestellt.

Das Aufsetzen der Säulen ist nach den obigen Regeln auch hier ausgeführt. Der Unterzug trägt hier hölzerne Balken, welche die Stütze in der zweiten Richtung umfassen.

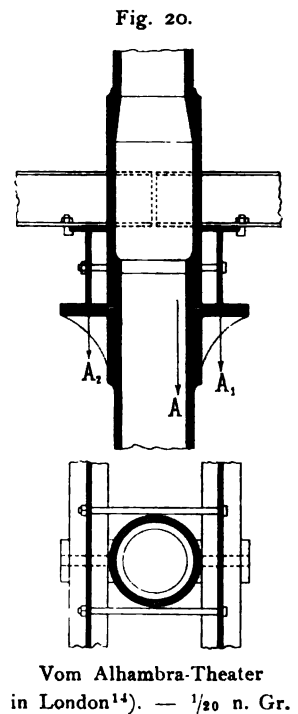
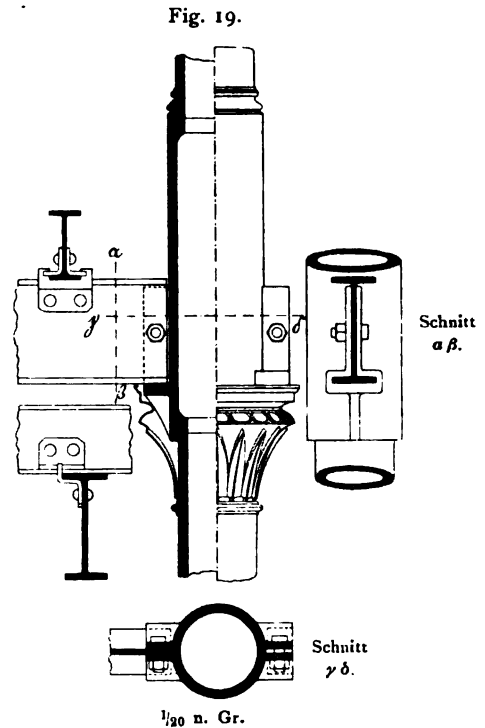
Im Wesentlichen übereinstimmend mit der in Fig. 18 dargestellten Anordnung ist die in Fig. 19 gezeichnete; doch sind hier einige Verbesserungen eingetreten. Die weit ausladenden Confolen sind durch kurze, angegossene, dem Querschnitte des durchschnittenen Unterzuges entsprechende Hülften ersetzt, welche mittels durchgesteckter Bolzen zugleich die Verbindung der beiden Unterzugsenden unter einander vermitteln. Nach unten sind diese Hülften noch durch Rippen abgestützt, und dem Auge sind sie durch einen Kapitellmantel aus Zinkguß verdeckt, welcher oberhalb eines angegossenen Halsringes umgesetzt, angestiftet und gelöthet wird. Die Ausladung für das Sockelprofil der oberen Stütze ist auch hier durch eine geringe Ausweitung der Säule gewonnen. Um den Guß aber trotz dieser Ausweitung und

den angegossenen Trägerhüllen möglichst einfach zu gestalten, ist zwischen den Kopf der unteren und den Fuß der oberen Säule eine abgefonderte Trommel mit abgedrehter oberer und unterer Lagerfläche eingesetzt, bei welcher die Ausweitung gar keine, das Ansetzen der Hüllen unerhebliche Schwierigkeiten verursacht; die Säulen sind, abgesehen vom Sockelprofil und Halsband, ganz glatt.

Die eisernen Balken sind in Fig. 19 auf den eisernen Unterzug so aufgelagert, daß keine Verschwächung der Flansche durch Niet- oder Bolzenlöcher entsteht, daß gleichwohl aber eine Verschiebung der Balken gegen den Unterzug nach keiner Richtung möglich ist. Es ist dies durch Anieten von entsprechend gebogenen und in einander geklinkten Blechen an die Trägerstege erreicht.

Die Mängel der Anordnungen nach Fig. 18 u. 19, nämlich die Unterbrechung des Unterzuges und die Auflagerung auf Confolen, welche wegen der schwierigen Kopfform beim Angießen nicht immer zuverlässig ausfallen und auch mittels Verschraubung nicht sehr sicher befestigt sind, wurden nach Fig. 20¹⁴⁾ vermieden. Abgesehen von der geringen Sockelausweitung besteht die Säule hier aus einem vollkommen glatten Cylinder, welchem nur nahe dem Kopfe ein ziemlich breiter Wulst angegossen ist. Dieser nimmt einen die Säule umhüllenden, von oben aufzuschiebenden kurzen Cylinder mit Confolenansätzen auf; der obere Rand der unteren Säule trägt den Fuß der oberen mittels eines innen angegossenen Wulstes. Auf den Confolen des umgelegten Cylinders ruht der doppelte Unterzug in entsprechender Nuth, und in dieser sind die Lagerflächen nach Art von Fig. 2 (S. 3) etwas gewölbt, damit die Lastübertragung auch bei Durchbiegungen möglichst centrisch bleibt. Da die Confolen hier, statt am langen Säulenkörper, an einem kurzen Cylinderstücke angebracht sind, ist ihre Herstellung, wie die der Säulen, wesentlich vereinfacht und der Guß zuverlässiger.

Die in Fig. 20 dargestellte Anordnung bedingt die Verwendung doppelter Unterzüge. Lagert man die zu tragenden Balken, wie in Fig. 20 angedeutet, ohne Weiteres auf diese auf, so ist excentrische Belastung der Stütze, wegen der bei ungleicher Belastung oder Spannweite der Balkentheile ungleichen Auflagerdrücke A_1 und A_2 , deren Mittelkraft A im Allgemeinen nicht in der Mitte wirken kann,

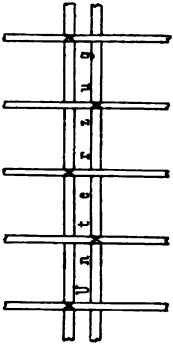


¹⁴⁾ Nach: *Engng.*, Bd. 37 (1884), S. 539.

unvermeidlich. Auch die Verwendung durchlaufender oder überkragender Balken beseitigt diesen Uebelstand nicht, da die Durchbiegungen der Balken auch dann noch verschiedenartige Belastung der beiden Unterzugshälften hervorrufen.

Zwei Verfahren zur Abmilderung, bzw. Beseitigung dieses Uebelstandes doppelter Unterzüge, welcher Anlaß zu wesentlichen Verstärkungen der Stützen ist, geben Fig. 21 u. 22 an.

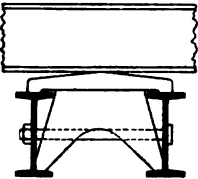
Fig. 21.



In Fig. 21 ist jeder Balken mittels zwischengelegter Platte nach Maßgabe der eingetragenen Kreuze nur auf einer Hälfte des Unterzuges gelagert. Bei entsprechender Vertheilung der Lager kann hierdurch eine Ausgleichung der Auflagerdrücke A_1 und A_2 bis zu gewissem Grade erzielt werden, völlig aber schon aus dem Grunde nicht, weil die durch die Art der Lagerung bedingte Verschiedenheit der Spannweiten zweier benachbarter Balken selbst bei ganz gleichförmiger Belastung eine geringe Verschiedenheit der Belastung beider Unterzugshälften hervorrufen muß.

Wirksamer ist das Einfügen von gewölbten Unterlagsplatten zwischen Unterzug und Balken nach Fig. 22, welche eine fast vollkommen gleichmäßige Lastvertheilung auf beide Unterzugshälften für alle Verhältnisse sichert. Die Platte ist dabei so geformt, daß die Lastübertragung gerade über dem Stege der Unterzugträger erfolgt, und die unten angeetzte Mittelrippe, zugleich eine Verstärkung der Lagerplatte, eine sichere Abpreizung beider Unterzugshälften und eine unmittelbare Belastung auch der unteren Gurtungen der Unterzugsträger bewirkt.

Fig. 22.

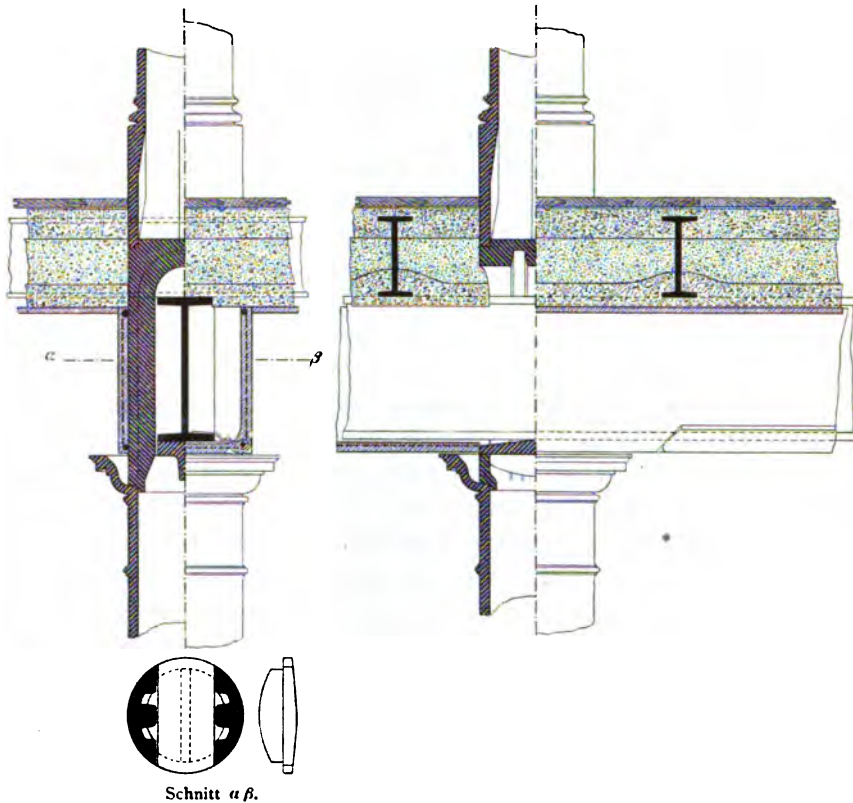


Es leuchtet ein, daß die beiden Anordnungen in Fig. 21 u. 22 sowohl für über den Unterzügen durchgeschnittene, wie auch für durchlaufende Balken verwendbar sind.

Uebrigens entspringt die Verwendung doppelter Unterzüge nicht allein der Rücksicht auf möglichst günstige Gestaltung der Auflagerung auf den Stützen; sie ist in sehr vielen Fällen eine Nothwendigkeit, weil die schweren, vom Unterzuge aufzunehmenden Einzellasten bei einfacher Anordnung des letzteren eine übermäßige Trägerhöhe bedingen würden.

Eine besonders gute Anordnung für einfache Unterzüge auch schwerer Decken zeigt Fig. 23, die oben bereits (zusammen mit Fig. 17) kurz erwähnt wurde und in welcher nebenher noch einige später zu erläuternde Theile dargestellt sind. Die Anordnung greift im Wesentlichen auf die in Fig. 16 u. 17 veranschaulichte zurück. Auch hier ist der einfache Unterzug durch eine Oeffnung in der Stütze gesteckt; die Mängel, die hierdurch in Fig. 16 entstanden, sind aber in Fig. 23 vermieden. Zunächst befindet sich die Oeffnung in einem besonderen Zwischenstücke, dessen geringe Länge schwierigere Gufsform und damit einen Querschnittsersatz für die durch die Oeffnung fortgenommenen Wandtheile gestattet. Im Schnitte $\alpha\beta$ sind die drei Innenrippen zu erkennen, welche diesen Ersatz bieten und, nach den beiden Längenschnitten oben halbkreisförmig geschlossen, zugleich eine Brücke bilden, durch welche die über der Oeffnung wirkenden Lasttheile der oberen Stütze nach den verstärkten Seitentheilen hin übertragen werden. Der Unterzug lagert nun nicht, wie in Fig. 16, auf den unteren Rändern der Oeffnung; zu seiner Auflagerung ist vielmehr eine besonders dargestellte, oben gewölbte, unten durch eine Rippe verstärkte Auflagerplatte in die Oeffnung eingelegt, welche selbst bei

Fig. 23.



ganz excentrischer Belastung des Unterzuges den Auflagerdruck praktisch genau in der Stützenmitte aufnimmt und gleichmäÙig auf den unteren Rand der Oeffnung überträgt. Da der einfache Unterzug von den Balken in seiner Querrichtung nicht merklich excentrisch belastet werden kann, so ist hier jede excentrische Belastung der Stütze ausgeschlossen, ohne daß man der unbequemen und theueren Auflager-
vorkehrungen in Fig. 21 u. 22 zwischen Balken und Unterzug bedürfte.

Die Sockelausladung der oberen Stütze ist hier durch Einziehen des Stützen-
durchmessers gewonnen, was mit Rücksicht auf die nach oben hin abnehmende Be-
lastung stets möglich fein wird.

In neuerer Zeit kommen, wie bereits in Theil III, Band 1 (Art. 277, S. 184¹⁵⁾ dieses »Handbuches« gesagt worden ist, schmiedeeiserne Freistützen¹⁶⁾ häufiger zur Verwendung, namentlich wenn die Unterzüge genietete Träger sind. Bei der großen Länge, in welcher die schwächeren Eisenprofile ausgewalzt werden, kann man diese Stützen durch viele Geschosse ohne Stofs hinaufreichen lassen; da jedoch hierbei eine der von oben nach unten zunehmenden Last Rechnung tragende Querschnittsänderung nicht möglich ist, so hat man meist die Zusammensetzung aus einzelnen Theilen mittels starker Verlaschungen in den Schlitten der Querschnitte vorgezogen¹⁷⁾. (Vergl.

¹⁵⁾ 2. Aufl.: Art. 285, S. 208.

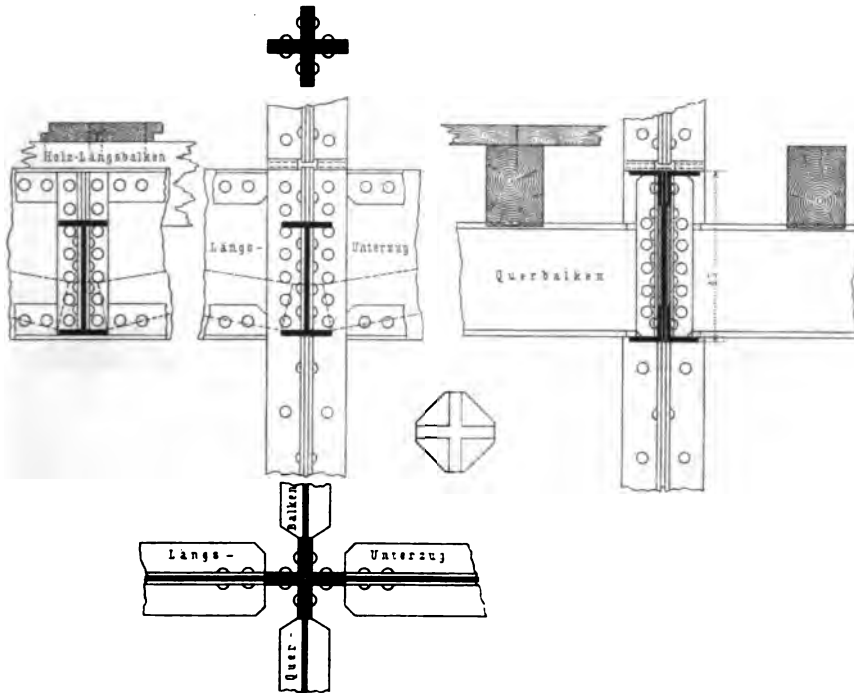
¹⁶⁾ Ueber das Verhalten beider Eisenarten im Feuer und die Feuersicherheit eiserner Freistützen siehe Theil III, Band 6 (Abth. V, Abschn. 1, Kap. 1, a: Feuersicherheit der wichtigeren Baustoffe und Bauconstructions), eben so Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (S. 123, Art. 145: Tragfähigkeit der Stützen bei erhöhter Temperatur) dieses »Handbuches«.

¹⁷⁾ Ueber Gebäude mit solchen Stützen von mehr als 20 Geschossen siehe: *Engng. news* 1892, S. 2, 3, 41, 42.

z. B. Fig. 456 bis 459, S. 166¹⁸⁾ in Theil III, Band I dieses »Handbuches«.) Diese hohen Stützen sind aber bei der Aufstellung sehr unbequem, ein Umstand, der dazu geführt hat, die Stützen für jedes Gefchoß für sich herzustellen, die Endflächen abzuhobeln und zwischen diese gleichfalls durch Hobeln dem Stützenquerschnitte entsprechend ausgenuthete Druckplatten einzulegen (Fig. 24).

Die schmiedeeisernen Stützenquerschnitte haben größtentheils (mit Ausnahme der z. B. durch Fig. 543, 545 u. 546, S. 191¹⁹⁾ die im eben genannten Bande dieses »Handbuches« dargestellten Schlitzze, in welchen Anschlüsse erfolgen können. In der Stütze selbst füllen in der Regel Blechstreifen diese Schlitzze, die aber in den Anschlüssen, als nur wegen des Widerstandes gegen Zerknicken zugegeben, wegfallen

Fig. 24.



Vom neuen Packhof zu Berlin.

1/20 n. Gr.

können. Die Möglichkeit des Anschlusses von vier Seiten läßt nun alle die Schwierigkeiten verschwinden, welche bei der Auflagerung einfacher Unterzüge und Balken auf gusseiserne und hölzerne Freistützen entstanden; nur stößt auch hier die Anordnung durchlaufender oder überkragender Träger bei manchen Querschnitten auf Schwierigkeiten, so z. B. bei den im letztgenannten Bande auf S. 191 in Fig. 542, 545 bis 550 u. 552 bis 554²⁰⁾ dargestellten Querschnittsformen. Auch wird durch zwei mit den Enden in einen Stützenschlitz gesteckte Unterzugtheile, z. B. a. a. O. bei Fig. 544 (S. 191²¹⁾) eine excentrische Belastung der Stütze erzeugt werden können,

¹⁸⁾ 2. Aufl.: Fig. 467 bis 470, S. 180.

¹⁹⁾ 2. Aufl.: Fig. 556, 558 u. 559, S. 213.

²⁰⁾ 2. Aufl.: S. 213 u. 214, Fig. 555, 558 bis 563 u. 565 bis 568.

²¹⁾ 2. Aufl.: Fig. 557, S. 213.

wenn der eine anschließende Unterzugtheil andere Belastung oder Spannweite besitzt, als der andere.

Fig. 24 zeigt eine derartige Deckenträger-Ausbildung²²⁾, deren Gefammtanlage aus Fig. 10 (S. 8) hervorgeht, wenn man dort den gestrichelten Mittelträger als vorhanden ansieht.

An die $+$ -förmigen Stützen schließt sich entlang der Mitte des Gebäudes ein genieteter Längsunterzug von 45 cm Höhe; an diesem, bzw. an der dritten und vierten Seite der Stützen sind dann die mit den anderen Enden auf die Mauern gelagerten Querbalken in Form von I-Trägern befestigt; diese tragen schliesslich die hölzernen Längsbalken und auf dem unteren Flanisch noch steinerne Kappen nach Mafsgabe des in den folgenden Kapiteln zu Erläuternden. Auf den Holzbalken liegt gespundeter Bretterfußboden. Die Längen der Stützen für die verschiedenen Geschosse sind völlig von einander getrennt; die abgehobelten Kopfenden nehmen ihrem Querschnitte entsprechend ausgehobelte Blechplatten (Fig. 24) zwischen sich auf, in deren Nuthen volle Berührung durch Einlegen von Kupferstreifen gesichert wird. Das Aufstellen ist durch die Theilung in Stücke von Geschofshöhe wesentlich erleichtert, da jedes Geschofs für sich erst vollständig fertig gemacht werden konnte, ehe man die Stützen des folgenden aufstellte; zugleich ist jede beliebige Querschnittsänderung in den verschiedenen Geschossen ermöglicht.

Fig. 25.

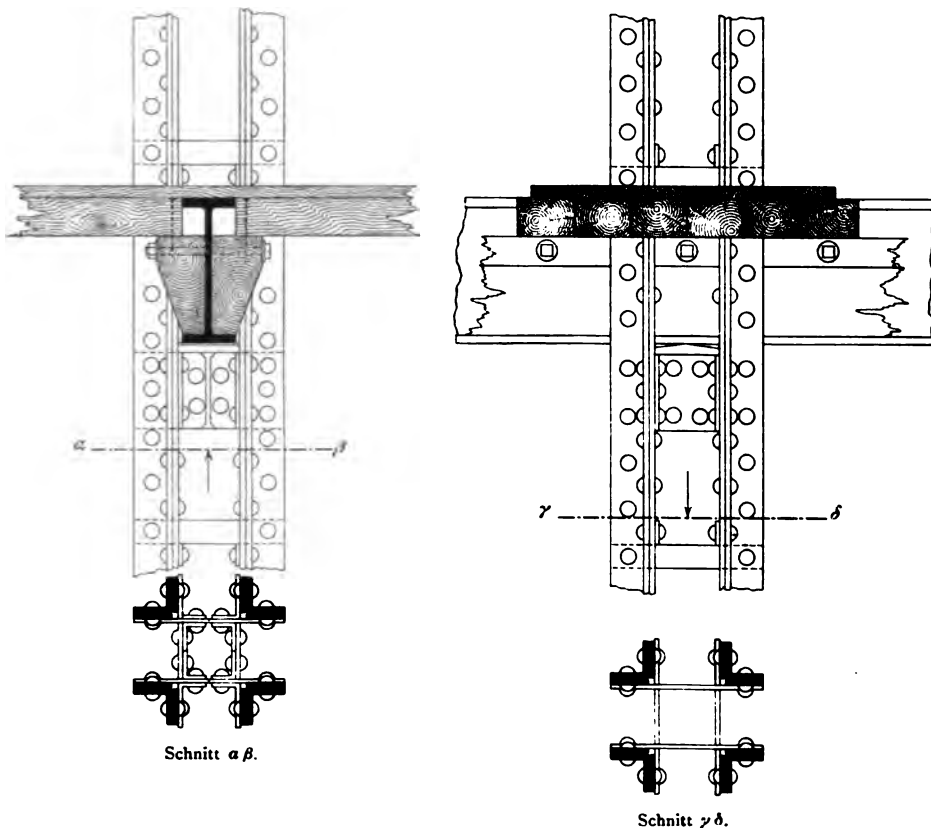
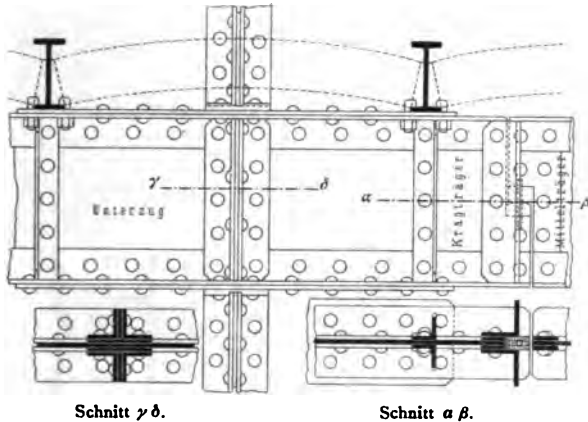


Fig. 25, welche den Grundgedanken der Stützung im Brockthor-Speicher zu Hamburg darstellt, bewahrt die Möglichkeit der ununterbrochenen Durchführung der Unterzüge, indem der verwendete offene Kreuzquerschnitt Gelegenheit zum Durchstecken der letzteren giebt.

²²⁾ Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 375.

Fig. 25 zeigt eine durch eingesetzte Stützwinkel und darauf ruhende abgerundete Lagerplatte hergestellte Lagerung der Unterzüge, welche ähnlich den Anordnungen in Fig. 17 und 23 genaue centrische Lastübertragung stets sichert. Veränderung des Querschnittes ist durch Einlegen von Verstärkungsplatten ermöglicht; auch können die L-Eisen selbst leicht abgeändert werden, wenn man den stumpfen Stoß in Fig. 24 mit eingelegter Druckplatte auch hier durchführt. Die Verbindung der vier Querschnitttheile ist nur durch eingienietete wagrechte Flachbänder hergestellt; die zulässige Theilung dieser Verbindungen folgt

Fig. 26.



mit $\frac{\lambda}{2}$ aus der Gleichung 155 in Theil III, Band I (S. 188²³⁾ dieses »Handbuches«.

Selbstverständlich kann man in gleicher Weise und mit gleichem Erfolge auch die Enden in der Stützenmitte durchgeschnittener Unterzüge lagern.

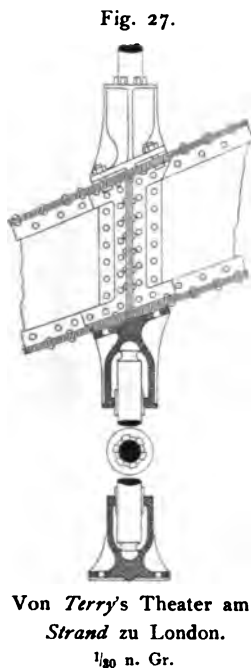
Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, die Unterzüge, bezw. Balken auch dann in den Lagern auf den Stützen ununterbrochen durchlaufen zu lassen, wenn der Stützenquerschnitt die für den Träger erforderliche Lücke nicht besitzt.

Das erste Mittel hierzu bildet die in allen Fällen mögliche Anordnung von Doppelträgern, wie in Fig. 20, welche auf in die Schlitz des Stützenquerschnittes eingienietete, um die Trägerbreite vorkragende Knotenbleche mit Randwinkeleisen gelagert werden. In dieser Weise sind die Stützenanordnungen des neuen Hafenspeichers zu Frankfurt a. M.²⁴⁾ angeordnet. Hierbei sind die oben zu Fig. 20, 21 u. 22 erläuterten Mafsregeln gegen excentrischen Lastangriff zu treffen.

Ein zweites, in Fig. 26 dargestelltes Mittel besteht darin, dafs man den entsprechend versteiften Unterzugträger als Theil der Stütze selbst in diese einschaltet.

Die ausgehobelten Druckplatten in Fig. 26 sind hier auf die obere Gurtung und unter die untere Gurtung des Unterzuges genietet, dessen Wand an der betreffenden Stelle durch dem Stützenquerschnitt entsprechende L-Eisen und Platten (Fig. 26, Schnitt γ δ) ausgesteift ist. Die aus I-Eisen gebildeten Balken liegen auf dem Unterzuge und sind mit Hakenschauben befestigt, welche weder den Balken noch den Unterzug schwächen, da sie in Nietlöcher der oberen Gurtung des letzteren eingefügt werden können. Die in Fig. 26, Schnitt α β gezeichnete Gelenkanordnung wird später näher erläutert werden. Der Unterzug ist auch unter jedem Balken für die Lastaufnahme durch zwei L-Eisen ausgesteift. Die Balken tragen die eigentliche Decke hier (gestrichelt angedeutet) in Form einer Auswölbung.

In ähnlicher Weise sind die Kragträger der Ränge in Terry's Theater am Strand zu London durch die Stützen durchgeführt²⁵⁾. Diese eigenthümliche, in mehreren Beziehungen beachtenswerthe Anordnung ist in Fig. 27 dargestellt.



²³⁾ 2. Aufl.: Gleichung 183, S. 201.

²⁴⁾ Siehe hierüber: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 112. — Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 108. — Prakt. Masch.-Constr. 1888, S. 1, 49.

²⁵⁾ Siehe: Engineer, Bd. 44 (1887), S. 283.

Zunächst sind die Stützen selbst, behufs thunlichster Ersparung an Raum, mit vollem Kreisquerschnitte aus Schmiedeeisen gebildet; die Wahl des unvorteilhaften ganz vollen Querschnittes ist wohl aus der

Schwierigkeit der Herstellung enger Schmiedeeisenrohre zu erklären²⁶⁾. Jeder Stützentheil endigt in einer abgedrehten Halbkugel, welche, in die Halbkugelschalen der oberen und unteren Gußlager gesetzt, eine gelenkartige Wirkung und genau centrische Lastübertragung auf die Stütze sichert. Die Wirksamkeit der Gelenke ist jedoch nur während der Errichtung des Gebäudes ausgenutzt, um durch sie kleine Ungenauigkeiten auszugleichen. Nach Fertigstellung des Bauwerkes wurden zwischen die Stütze und den Rand der die Stütze topfartig umfassenden Lagerplatten je 6 Keile eingesetzt, um weitere Bewegungen auszuschießen. Die Rangträger durchschneiden die Stützen behufs Ausbildung der Treppe in geneigter Lage. Die Grundplatten sind daher entsprechend schief an die Lagertöpfe gegossen und tragen auf der Lagerfläche am Träger eine Kreuzrippe, welche, zwischen vier auf die Kopf- und Fußplatten des Trägers genietete Blechabschnitte greifend, völlige Unverschieblichkeit ohne Beanspruchung der Befestigungsholzen

sichert. Zwischen je zwei Stützenlagern ist der Träger auch hier durch aufgenietete Platten und L-Eisen wirksam versteift.

²⁶⁾ Jetzt würden sich hier *Mannesmann*-Rohre empfehlen.

Schnitt yδ.

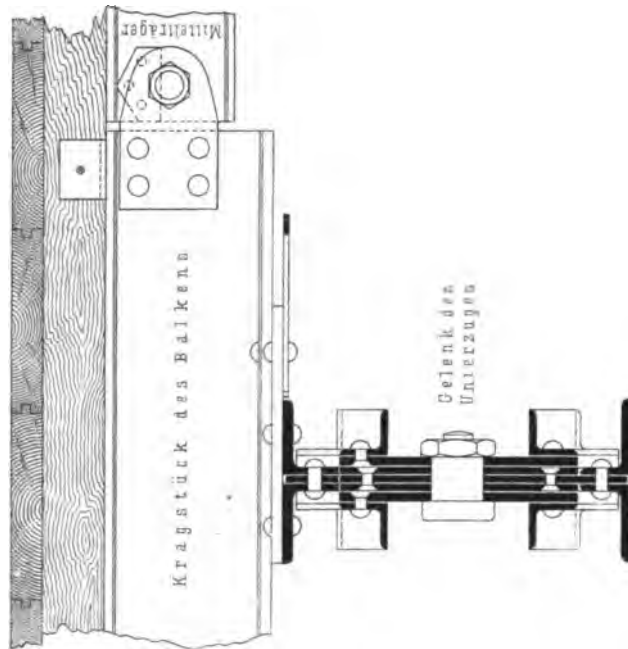
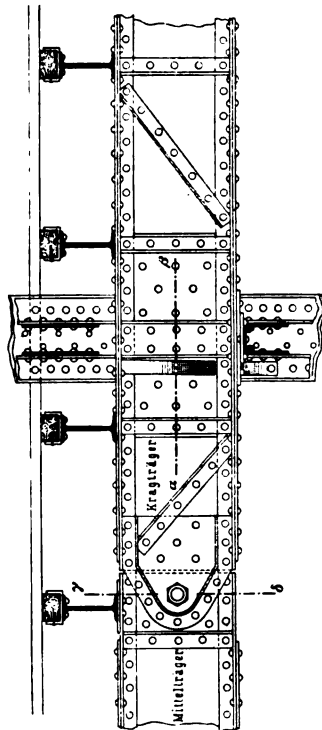
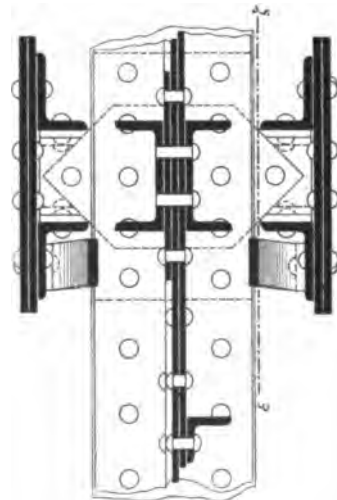


Fig. 28.

Schnitt εδ.



Schnitt αβ.

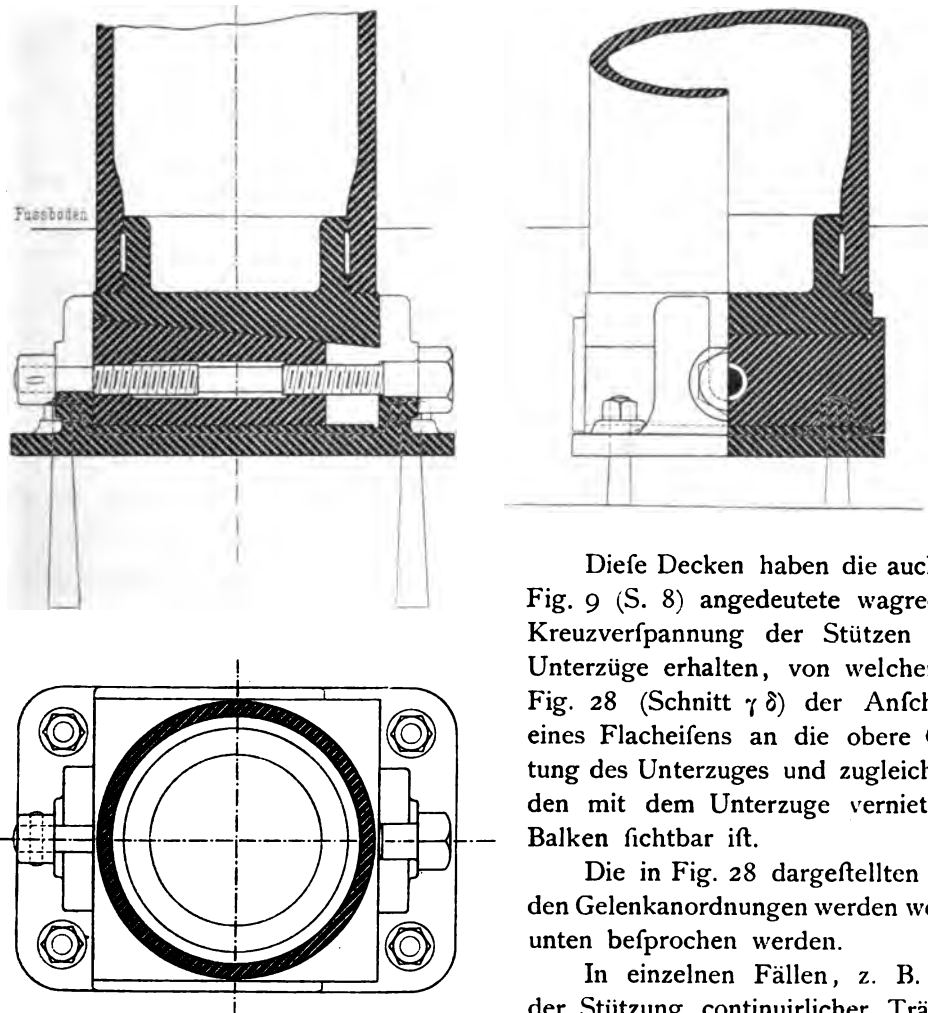


Von den Speicherbauten der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Gesellschaft.

Eine sehr kräftige Deckenstützung aus den Speicherbauten der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Gesellschaft zeigt Fig. 28.

Der Querschnitt der Stütze hat die durch Fig. 545 (S. 191²⁷⁾ in Theil III, Band 1 dieses »Handbuches« angegebene Grundform; nur sind die beiden Wände mittels Ersatz der beiden L-Eisen durch vier L-Eisen geöffnet, um den Unterzug durch die Stütze stecken zu können. Aus zwei Blechplatten nebst einem Γ -Eisen und einer Deckplatte ist in der Stütze ein Steg für die Aufnahme des genieteten Unterzuges ausgebildet, welcher eine nahezu stets genaue Lastübertragung ermöglicht. Der auf diesen Quersteg gelagerte Unterzug ist durch zwei schräg von der äusseren Stützenwand nach seiner oberen Gurtung ansteigende Flacheisen am Kippen verhindert. Die Stützen laufen von unten bis oben ohne Unterbrechung durch; wo Stöße durch die Abänderung der Abmessungen von Querschnittstheilen erforderlich wurden, sind dieselben verlascht. Der Unterzug ist an der Auflagerstelle durch zwei Platten und zwei Γ -Eisen für die Balkenauflagerung durch lothrechte und schräge L-Eisen versteift. Die beiden Stützenhälften sind durch in der Theilung $\frac{\lambda}{2}$ (siehe die in Fussnote 23 angezogene Gleichung in Theil III, Band 1 dieses »Handbuches«) eingesetzte Blechverbindungen gegen einander abgesteift.

Fig. 29.



Diese Decken haben die auch in Fig. 9 (S. 8) angedeutete wagrechte Kreuzverspannung der Stützen und Unterzüge erhalten, von welcher in Fig. 28 (Schnitt $\gamma \delta$) der Anschluß eines Flacheisens an die obere Gurtung des Unterzuges und zugleich an den mit dem Unterzuge vernieteten Balken sichtbar ist.

Die in Fig. 28 dargestellten beiden Gelenkanordnungen werden weiter unten besprochen werden.

In einzelnen Fällen, z. B. bei der Stützung continuirlicher Träger, kann eine besonders große Genauig-

8.
Regelbare
Lagerung.

Vom Schleifischen Bahnhof zu Berlin. — $\frac{1}{12}$, 8 n. Gr.

²⁷⁾ 2. Aufl.: Fig. 558 (S. 213).

keit der Höhenlage der Stütze gefordert sein. Da es nun schwierig ist, einen schweren Stützkörper ganz genau in die verlangte Höhe zu bringen, so muß man in solchen Fällen Vorkehrungen zu nachträglicher Berichtigung treffen, welche unter Zuhilfenahme der Schraube, des Keiles oder auch beider zugleich jederzeit ein Nachstellen gestatten. Fig. 29 zeigt eine solche Einrichtung am Fusse einer gußeisernen Freistütze im Schlesischen Bahnhofe in Berlin.

Die Grundplatte ist zweitheilig gestaltet, so daß der obere, unten schräg begrenzte Körper zwischen am unteren Körper befestigten Führungen auf- und niedergleiten kann. Zwischen beide schiebt sich ein mit Schraubengewinde durchlochstes Keilstück ein, welches durch Drehung einer in den Führungsbacken an der Unterplatte fest gelagerten wagrechten Schraubenspindel nach beiden Richtungen sich bewegt, somit zum Heben und Senken der Stütze benutzt werden kann.

Die Anordnung hat in dieser Gestalt den Mangel excentrischer Lastübertragung der Grundplatte, welche auf die Stütze biegend wirkt.

9.
Versteifung
der
Freistützen.

Die Versteifung der Freistützen erfolgt bis zu gewissem Grade durch die Unterzüge und Balken, welche erst der Länge nach verschoben werden müssen, ehe die Stütze weichen kann, welche also die Stützen gegen einzelne Punkte der Wände verspreizen. In den meisten Fällen genügt dies. Ruht aber z. B. ein städtisches Haus im Erdgeschoß außer auf den möglichst schwach gehaltenen und zum Theile in dünne schwer belastete Pfeiler aufgelösten Umfassungswänden lediglich auf Freistützen, so erscheint es erwünscht, die Balkenlage mit ihren Unterzügen zu einer unverrückbaren Tafel zu gestalten, in welcher einzelne Glieder allein nicht verschoben werden können, damit wenigstens die volle Ausdehnung der Wände zur Versteifung der Stützenköpfe ausgenutzt wird. Dies ist zu erreichen, indem man Bandkreuze aus Flacheisen, von den Stützen ausgehend, unter den Balken, bezw. Unterzügen befestigt, durch welche in wagrechtem Sinne Dreiecksverband entsteht. Diese in der Deckenausbildung leicht zu verdeckenden Bänder sind ihrer Lage nach in Fig. 9 (S. 8) gestrichelt angedeutet, und ein Beispiel des Anschlusses eines derartigen Bandes an einen Balken und Unterzug zugleich zeigt Fig. 28.

c) Auflagerung der Balken auf Unterzügen, bezw. der Unterzüge auf einem Mittelträger.

10.
Continuirliche
Träger.

In der Regel ist genügende Höhe vorhanden, um die Balken über den Unterzug hinstreichen lassen zu können. In diesem Falle können die Balken als continuirliche Träger angeordnet, und bei ihrer Bemessung kann die Ersparnis ausgenutzt werden, welche die für den continuirlichen Träger dem Träger auf zwei Stützen gegenüber geringeren Biegemomente gestatten. Das Festlegen dieser Momente müßte mit Rücksicht auf die Durchbiegung des Unterzuges erfolgen, ein Verfahren, welches zugleich mühsam und unsicher ist. Denn da die Höhenlage des Unterzuges wesentlich auch von den nicht zu vermeidenden Sackungen abhängt, so geben die Durchbiegungen allein nicht die richtige Höhenlage der einzelnen Punkte des Unterzuges an. Da nun das größte Biegemoment des Trägers auf zwei Stützen, wenn nicht außergewöhnliche Verformungen eintreten, stets größer ist, als das des continuirlichen Trägers von gleicher Oeffnungsweite, so wird man für alle gewöhnlichen Fälle etwas zu sicher verfahren, wenn man die Balken mit gleich bleibendem Querschnitte als Träger auf zwei Stützen für ihre größte freie Weite berechnet.

Dann empfiehlt es sich aber, diese Eigenschaft nicht bloß der Berechnung zu Grunde zu legen, sondern sie den Balken auch wirklich zu geben, indem man letztere

über dem Unterzuge so weit durchschneidet, wie dies mit Rücksicht auf die Verankerung der Wände oder auf die Uebertragung von Längskräften, z. B. in Dachbinderbalken, zulässig erscheint. Denn da die continuirlichen Träger die größten Lasten auf ihren Mittelfstützen sammeln — für den Träger auf drei Stützen ist z. B. bei der gleichförmigen Belastung q auf die Längeneinheit und der Stützweite l der Druck auf die Mittelfstütze $= \frac{5}{4} q l$, für zwei zusammen gelagerte Träger auf zwei

Stützen nur $= q l$ — so bringt man die Lasten durch Continuität der Balken in höchst unerwünschter Weise vorwiegend auf die Unterzüge, deren Querschnitt ohnehin meist schon unbequem stark wird; man entlastet dagegen die die Balkenenden tragenden Aufsenmauern, die bezüglich ihrer Tragfähigkeit selten ganz ausgenutzt sind. Sind die Balken aus Eisen, so lege man in jeden einen Stoß über den Unterzug und verbinde die Enden, wenn es nöthig ist, durch doppelte Flacheisenstreifen auf Zug.

Beim Befestigen continuirlicher Balken auf den Unterzügen ist zu beachten, daß in der Auflagerung keine Schwächung durch Bolzen oder Nietlöcher in den Flanschen eiserner oder durch erhebliche Auschnitte in hölzernen Balken eintreten darf, weil in der Auflagerung eines der größten Biegemomente wirkt, man also den Trägerquerschnitt um die Schwächung verstärken müßte. Mittel zur Vermeidung dieser Schwächung sind die folgenden.

1) Ist der Unterzug mit Nieten in der oberen Gurtung zusammengesetzt, so kann man in die Nietreihen zwei oder vier Hakenbolzen nach Fig. 20 u. 26 einsetzen, welche dann aber die Längsverschiebung der Balken nur durch Einklemmen verhindern.

2) Eine feste Vernietung wird durch die in Fig. 28 dargestellte Anordnung ermöglicht. Hier ist zwischen Balken und Unterzug eine Platte eingelegt, welche mit dem zusammengesetzten Unterzuge fest vernietet, seitlich sich so weit unter den Balken erstreckt, bis sie eine Stelle erreicht, wo das Biegemoment klein genug ist, um die Schwächung des Balkenflansches durch Nietlöcher zulässig erscheinen zu lassen.

3) Verträgt der Unterzug selbst auch keine Schwächung, so kann man diese Balkenanschlußplatte umbiegen und an den Steg des Unterzuges nieten, oder

4) man niete nach Fig. 19 an den Steg des Unterzuges, wie des Balkens je eine umgebogene Platte, welche mit Ausklinkungen in einander greifen. Letztere Anordnung verhindert jedoch ein Abheben des Balkens nach oben nicht.

In sehr vielen Fällen genügt es, die Balken lose auf die Unterzüge zu lagern, namentlich wenn die übrige Ausbildung der Decke Verschiebungen der Balken unmöglich macht, wie z. B. in Fig. 23.

Man kann die Materialersparnisse des continuirlichen Balkens mit Sicherheit voll ausnutzen, wenn man ihn als continuirlichen Gelenkträger ausbildet, da dessen Momente von der Höhenlage der Unterstützungen unabhängig sind. Aber auch diese Constructionsweise vergrößert die Belastung der Mittelfstützen, d. h. der Unterzüge, beträchtlich, und es bleibt daher in jedem Falle zu untersuchen, ob nicht die Ersparnisse an den continuirlichen Gelenkbalken durch die nothwendige Verstärkung der Unterzüge mehr als ausgeglichen wird.

Bei den Unterzügen fallen diese Bedenken weg, da eine ziemlich bedeutende Mehrbelastung, namentlich an sich schon schwerer eiserner Stützen, keine wesentlichen Mehrkosten verursacht. Für Unterzüge und diese unterstützende Mittelträger ist da-

11.
Befestigen
continuirlicher
Balken auf
Unterzügen.

12.
Continuirliche
Gelenkträger.

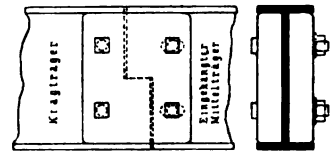
her diese neuerdings mehr und mehr verwendete Construction wegen der damit verbundenen bedeutenden Erleichterung sehr zu empfehlen. Es ist deshalb schon bei Besprechung der Beispiele für Stützungen von Unterzügen auf diesen Punkt stets besonders hingewiesen, und es wird auch in Kap. 6 bei Ermittlung der Stärke der Deckentheile und Unterstützungen noch näher hierauf eingegangen werden.

23.
Construction
der
Gelenke.

Anordnungen der Gelenke solcher continuirlicher Gelenkträger, welche nur die Uebertragung von lothrechten Querkraften, nicht von Biegemomenten gestatten, sind in Fig. 26, 28, 30 u. 31 dargestellt.

In Fig. 26 ist die Blechwand des continuirlichen Unterzuges falzartig ausgeklinkt und zugleich durch zwei eben so geformte Bleche verstärkt. Im Falz ist auf diese Weise eine Lagerfläche von drei Blechdicken gebildet, welche unten einen gewölbten, oben einen ebenen Lagerkörper trägt, so daß ein vollständiges sog. Berührungs-Kipplager entsteht. Die beiden Lagerkörper sind durch einen eingesetzten Stahldollen, so wie durch zwei auf die Verförkungsbleche genietete L-Eisen nach allen Richtungen unverrückbar gemacht. Sollte der eingehängte Mittelträger sehr lang und starken Wärmeänderungen ausgesetzt sein, so muß man die Dollenlöcher an einem Ende etwas länglich machen, damit die erforderliche Beweglichkeit für Wärmeausdehnungen gesichert bleibt. Die Dollen sind jedoch weniger wesentlich, als die seitlichen L-Eisen, und können wegbleiben.

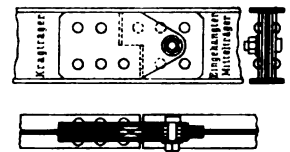
Fig. 30.



In Fig. 28 ist ein Gelenk für einen I-Balken gezeichnet. An das überkragende Ende des Balkens sind zwei Laschen genietet, zwischen deren vorkragende Spitzen sich die durch ein aufgenietetes Blech entsprechend verstärkte Wand des Mittelträgers schiebt. Durch die Laschen und den verstärkten Mittelträger ist dann der Gelenkbolzen gezogen, welcher nach den in Theil III, Band 1 (Art. 226 bis 229, S. 155 u. ff. ²⁸⁾) dieses »Handbuches« für Bolzenanschlüsse gegebenen Regeln zu bemessen ist.

Für unverstärkte Blechwände wird der Bolzendurchmesser bei Bolzengelenken übermäßig stark. Beim Unterzuggelenke in Fig. 28 ist daher die Wand des Kragträgers, wie des Mittelträgers, zunächst durch je zwei — so weit nöthig mit versenkten Nieten — aufgenietete Bleche verstärkt; dann sind wieder zwei starke Laschen an den Kragträger genietet, welche den Mittelträger umfassen und den Gelenkbolzen aufnehmen. Außerdem sind die Gelenklaschen mit L-Eisen gesäumt, und auch im Uebrigen ist die Gelenkstelle mit L-Eisen thunlichst versteift.

Fig. 31.



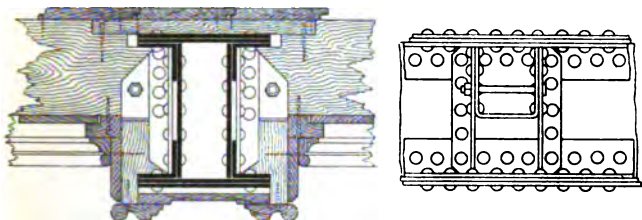
Häufig wird die Nietarbeit an Walzträgern gescheut, da sie die Träger verteuert. Ein Falzgelenk für Walzträger, wie in Fig. 26 für genietete, ohne Nietarbeit mit wesentlich verstärkten Gelenklagerflächen zeigt Fig. 30, wo zur Unterstützung der unverstärkten Falzfläche im Trägerflansch zwei genau eingepasste Gußklötze zwischen die Flansche gesetzt und nöthigenfalls beweglich — mit länglichen Löchern — eingebolzt sind. Denjenigen Theil des Auflagerdruckes des Mittelträgers, welchen die kleine Falzfläche nicht übertragen kann, übertragen die beiden Gußklötze von der oberen Gurtung des Mittelträgers nach der unteren Gurtung des Kragträgers, zugleich seitliche Verschiebungen der Träger gegen einander verhindernd.

²⁸⁾ 2. Aufl.: Art. 228 bis 231, S. 163 u. ff.

Scheut man das etwas mühsame falzartige Abschneiden der Trägerenden, so kann man die Träger auch glatt und stumpf vor einander stoßen und sich bezüglich der Auflagerung des Mittelträgers allein auf die eingebolzten Gufsklötze verlassen.

Fig. 31 zeigt schließlich ein durch aufgenietete Bleche verstärktes Falzlager für Walzträger ohne die stählernen Einätze in Fig. 26. Die äußeren Lafchen mit dem Bolzen haben hier nur den Zweck, Seitenverschiebungen zu verhindern; der Bolzen kann also schwach sein. Er ist in ein längliches Loch des Mittelträgers gesetzt, damit dieser für Wärmeänderungen beweglich bleibt. Die Befestigungsniete der Verstärkungsplatten an der Wand müssen wegen der beiden äußeren Lafchen zum Theile verfenkt werden.

Fig. 32.



Wird verlangt, daß die Unterzüge ganz oder theilweise in der Decke selbst verschwinden sollen, so kann man die Balken nicht mehr

über jene strecken, sondern muß sie an jeder Seite des Unterzugträgers abschneiden und befestigen. Eine Anordnung, bei welcher ein starker kastenförmiger Unterzug

fast ganz in der Balkenhöhe verschwindet, so daß unten nur ein niedriges Band vor-springt, zeigt Fig. 32.

Mittels Winkleisen sind hier dem Querschnitte der Balken entsprechende Blechlager am Unterzuge befestigt; die Balken sind von oben her

so ausgeschnitten, daß, wenn ihre Enden unter die obere Gurtung des Unterzuges gesteckt werden, die Oberkante über letzteren hervorragt; ein die beiden Balkenenden verbindendes Bohlenstück gestattet dann

Fig. 33.

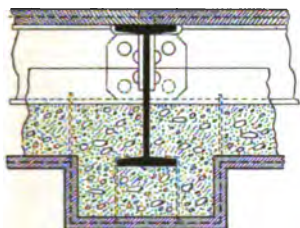


Fig. 34.

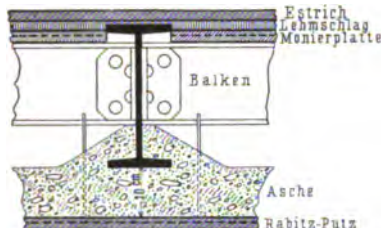
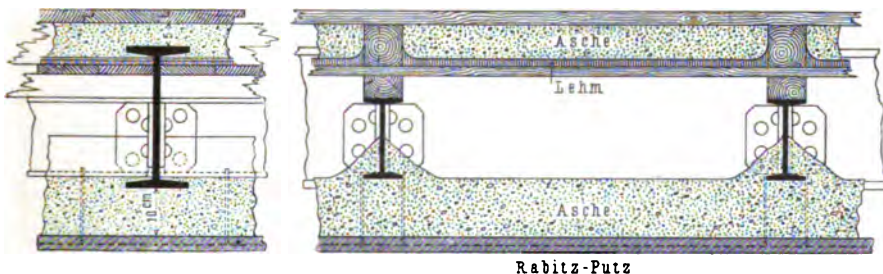


Fig. 35.



Rabitz-Putz

die Befestigung der Holztheile des Fußbodens auch über dem Unterzuge²⁹⁾. Unten ist der Unterzug durch Leisten und Bretter verkleidet, welche zugleich die Deckenbretter tragen, ein Beispiel der später zu besprechenden Holzdecke.

Auch Fig. 24, 33, 34 u. 35 zeigen Beispiele von ganz oder theilweise innerhalb der Deckendicke untergebrachten Unterzügen für eiserne Balkenlagen.

²⁹⁾ Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9, S. 2099.

14.
Verfenkte
Unterzüge.

Literatur

über »Unterstützung der Balkendecken«.

- Emploi du fer et de la fonte dans les constructions. I. Colonnes en fonte. Revue gén. de l'arch.* 1854. S. 314.
- The mode of connecting iron columns in tiers. Builder,* Bd. 22, S. 916.
- GÄRTNER, J. Ersatz der Mauerlatten durch Eisenschienen. *Zeitschr. f. Bauw.* 1871, S. 105.
- Iron columns. Building news,* Bd. 28, S. 33.
- Assemblage des colonnes et des planchers. La semaine des const.* 1876—77, S. 111, 146.
- Cast-iron hollow columns. Building news,* Bd. 32, S. 454.
- Balkenaufleger von Mechwart. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover.* 1877, S. 696.
- Fixing columns. Building news,* Bd. 35, S. 24.
- Säulen- und Trägerverbindungen im Schriftgießereigebäude der Herren *Scheller & Giesecke*, Leipzig. ROMBERG's *Zeitschr. f. prakt. Bauk.* 1880, S. 305.
- Neue amerikanische vielgeschossige Wohngebäude. *Scientific American*, Suppl. 1891, Nr. 816, S. 13055.
- Le génie civil*, Bd. 19, S. 377. *Engng. news* 1892, S. 2, 3, 41, 42.

2. Kapitel.

Balkendecken in Holz.

15.
Bestand-
theile.

Die Decke in Holz besteht aus folgenden zwei Haupt-Constructionstheilen:

- 1) aus den tragenden Balken oder Tramen (Träme), welche man unter der Bezeichnung Balkenlage zusammenzufassen pflegt, und
- 2) aus der Ausfüllung der Balkenfache, welche die Decke gegen das Durchdringen des Schalles und der Wärme dicht zu machen hat, auch Fehlboden oder Zwischendecke genannt.

Hierzu kommt noch in der Regel:

- 3) die Decke des unterliegenden Raumes im engeren Sinne, welche den unteren Abschluß der ganzen Decken-Construction bildet.

Eben so ist meistens

- 4) ein Fußboden vorhanden, welcher auf den Balken ruht, dem Verkehre im oberen Raume dient und den Abschluß des letzteren nach unten bildet.

Im Nachfolgenden wird hauptsächlich von den beiden zuerst genannten Constructionstheilen die Rede sein. Die Decke im engeren Sinne wird in so weit vorggeführt werden, als sie des unmittelbaren Zusammenhanges wegen hierher gehört; doch wird in Theil III, Band 3, Heft 3 dieses »Handbuches« von diesem Gegenstande noch eingehend gehandelt werden. Der Fußboden, welcher häufig die Balkenlage nach oben hin abschließt und in der Regel die Aufgabe hat, die Verkehrslast auf die Balkenlage, bzw. die Lagerhölzer zu übertragen, gehört nicht in den Rahmen dieser Betrachtung, wie schon in Fußnote 1 (S. 1) bemerkt wurde; über denselben ist das Erforderliche im eben genannten Hefte dieses »Handbuches« zu finden.

a) Balkenlage.

16.
Verschieden-
heit.

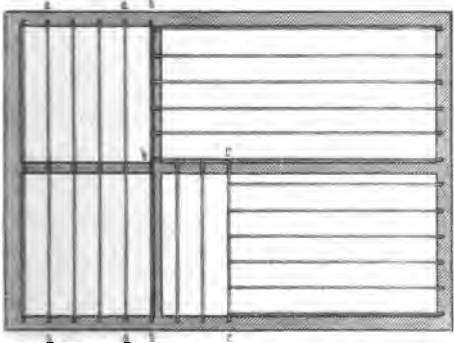
Die Balkenlagen werden unterschieden nach ihrer Höhenlage in: 1) Balkenlage des Erdgeschosses; 2) Balkenlagen der Obergeschosse, wobei die das Geschoß unten begrenzende Balkenlage diesem zugezählt wird; 3) Dachbalkenlage, und 4) Kehlgebälke.

Die Balkenlagen der Obergeschosse, auch Zwischen- oder Etagen-Gebälke genannt, ruhen auf den Wänden und dienen zugleich zur Verankerung derselben gegen einander.

Kehlgebälke werden von den Kehlbalken hoher Kehlbalkendächer gebildet und theilen den Dachraum in mehrere Höhenabtheilungen. Diese Gebälke haben jedoch meist nur für das Abbinden der Dachbinder Bedeutung; zur Aufnahme von Verkehr wurden sie häufig in den hohen mittelalterlichen Dächern benutzt, in denen der Dachraum zur Anlage von Speicherräumen diente; heute werden sie feltener zu vollen Balkenlagen ausgebildet, meist nur dann, wenn im Dachgeschoß untergeordnete Wohnräume geschaffen werden sollen.

17.
Regelmäßige
und
verschoffene
Gebälke.

Fig. 36.



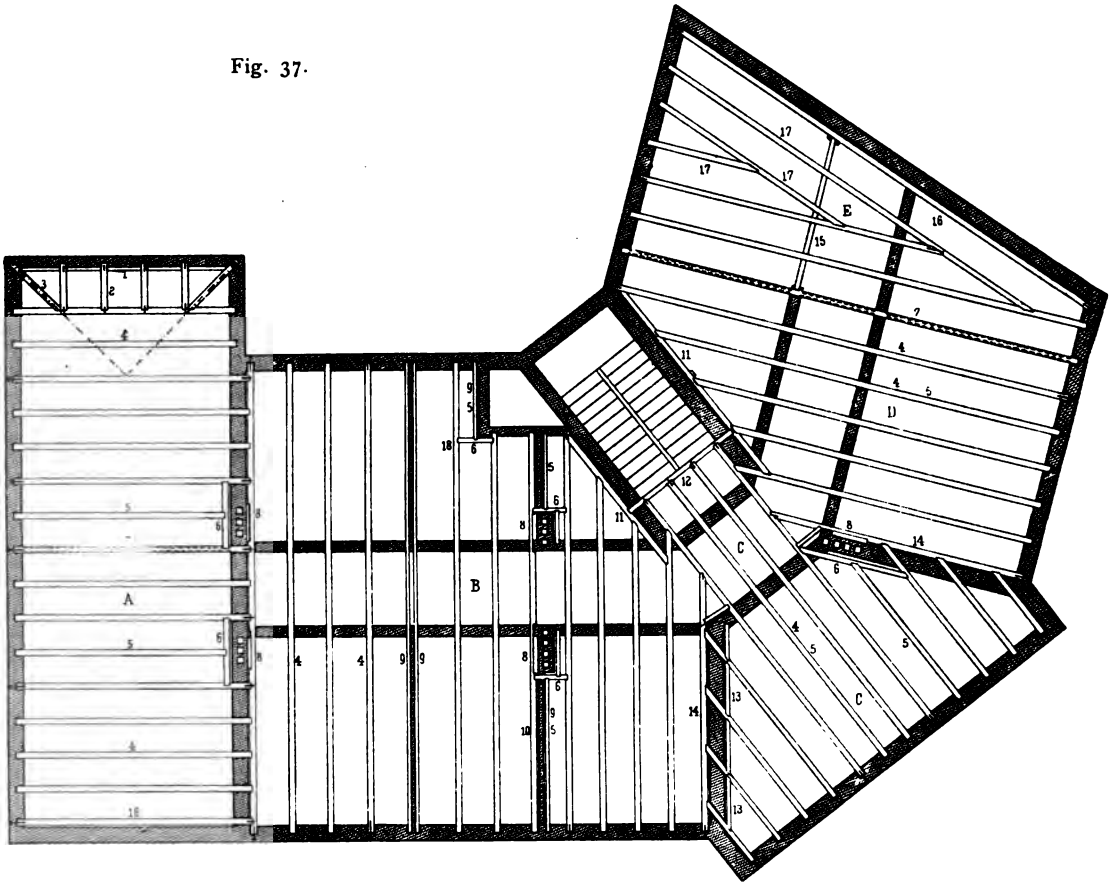
ftens dafür sorgen, daß die verschossenen Balken dicht vor ihrer Einlagerung in den durchgehenden, wie bei *bb*, durch eine Mittelwand gestützt werden. Balken, wie *cc*, würden, ganz abgesehen von der Schwächung durch die Zapfen, unter Verwendung gewöhnlicher Holzstärken der vom verschossenen Gebälke auf *cc* übertragenen Last entsprechend nicht zu bemessen sein.

Derartige verschossene Gebälke werden jedoch dann zur Nothwendigkeit, wenn das Gebäude aus mehreren unter einem Winkel zusammenstossenden Flügeln besteht. In diesem Falle ist die ganze Balkenlage als aus mehreren einzelnen zusammengesetzt anzusehen, deren jede über einem der Gebäudeflügel regelrecht entwickelt ist. Es ist dann nur darauf zu achten, daß in den Zusammenschnitten der einzelnen Gruppen keine zu großen Schwächungen oder Belastungen einzelner Balken entstehen.

In der in Fig. 37 dargestellten Balkenlage eines beliebigen schiefwinkligen Grundrisses sind 5 Gruppen zu unterscheiden.

Von diesen ist zunächst *A* vollständig unabhängig von den übrigen, es werden nur zur besseren Verbindung der Gebäudetheile die der Tiefe von *A* entsprechenden Balken in den letzten der Gruppe *B*

Fig. 37.



eingezapft und geklammert, was unbedenklich ist, da alle Balken vor der Einzapfung auf einer Mauer ruhen. Die Regelmäßigkeit von *B* wird nur dadurch unterbrochen, daß die letzten Balken durch das Treppenhaus, bezw. durch den schrägen Anschnitt an die Balken von *C* verkürzt werden. Die Balken von *C* stoßen an beiden Seiten auf die letzten Balken von *B* und *D* und werden dicht hinter ihrem Wandaufleger verzapft; die mittleren Balken von *C* greifen gleichfalls nicht durch, sondern werden durch das Treppenloch verkürzt. Die Vereinigung von *C* mit *D* ist dieselbe, wie die von *C* mit *B*. Schließlich entwickelt sich am anderen Ende des Flügels *D* noch eine Gruppe *E* aus dem Wunsche, den Abchluss aus Balken herzustellen, welche entlang der schrägen Giebelwand liegen. Wollte man aber alle in Frage kommenden Balken von *D* in einen an die Giebelwand gelegten einzapfen, so würde dieser zu schwer belastet werden. Es sind daher mehrere Balken parallel zum Giebel angeordnet, und die Balken der beiden Gruppen *D* und *E* sind nun wechselweise in einander gelagert, so daß jeder Balken nur einen anderen aufzunehmen hat.

Die einzelnen Balken einer Balkenlage (Fig. 37) haben sehr verschiedene Aufgaben zu erfüllen; danach werden die folgenden Arten derselben unterschieden.

1) Ganze Balken (4 in Fig. 37) gehen durch die ganze Tiefe des Gebäudes durch, haben daher mindestens an jedem Ende ein massives Auflager. Werden sie sehr lang (länger als etwa 15 m), so werden sie auf einer Mittelwand mittels gewöhnlichen oder französischen Hakenblattes gestützt.

Diese Balken sind die stärksten bemessenen und werden vorwiegend zur Verankerung der Außenwände benutzt. Da diese Balken aus langen Stämmen gewonnen werden müssen, man von diesen jedoch nicht mehr wegschneidet, als zur

Erlangung vollkantigen Holzes erforderlich ist, so werden die Balken am einen Ende häufig einen größeren Querschnitt haben, als am anderen.

Sie werden dann so gelagert, daß die Unterkante genau wagrecht liegt, erhalten also eine geneigte Lage der Oberkante. Soll auch ein Fußboden hergestellt werden, so ist zur Lagerung desselben gleichfalls eine wagrechte Oberkante erforderlich; in diesem Falle giebt man solchen

Fig. 38.



Balken einen keilförmigen Aufschiebling in Gestalt einer etwa 5 cm breiten Latte, welche überall die durch die größte Balkenstärke fest gelegte Höhe herstellt (Fig. 38).

2) Stichbalken und Gratstichbalken (2 u. 3 in Fig. 37) kommen zur Verwendung, wenn man Balkenköpfe an denjenigen Begrenzungsmauern erforderlich hält, mit denen die Balken parallel liegen. Jeder Stichbalken (2) ruht mit einem Ende auf der Mauer, mit dem anderen mittels Brustzapfens oder, wenn ein wagrechter Zug auf die Verbindung wirkt, mittels schwalbenschwanzförmigen Blattes mit Brüstung auf dem ersten ganzen Balken; der Gratstichbalken (3) wird gewöhnlich auf einer Mauerecke und dem ersten Balken gelagert.

Diese Art von Balken, welche selten über den ersten Balken hinausreichen, werden vorwiegend in zwei Fällen verwendet, nämlich:

α) bei Fachwerken auf den Giebelseiten aller Balkenlagen, wenn hier Rahmholz des unteren Geschosses und Schwelle des oberen getrennt ausgebildet werden sollen; alsdann kommt der Gratstichbalken in die Axe des Eckstieles zu liegen;

β) in Dachbalkenlagen bei Anordnung von Walmdächern, um die Gratsparren und die Schiffsparren des Walms in die Balkenköpfe verfassen zu können; alsdann liegt der Gratstichbalken in der Richtung des Walmgrates.

Die Stichbalken erhalten auf massiver Mauer in der Regel eine Wand- oder Mauerlatte (1 in Fig. 37³⁰⁾.

3) Balkenwechsel, Wechsel-, Trumpf- oder Schlüßelbalken (6, 12, 13 in Fig. 34) ruhen an beiden Enden mit Brustzapfen, bezw. schwalbenschwanzförmigem Blatte mit Brüstung auf anderen Balken.

Sie werden verwendet, wo ein Balken auf ein Hindernis trifft, das seine Durchführung unmöglich macht. Der Wechsel überträgt den Stützendruck des ausgewechselten Balkens (auch Stichbalken genannt, 5 in Fig. 37) auf die beiden Nachbarbalken. Da diese im Allgemeinen aber schon ihrem Querschnitte entsprechend belastet sind, so dürfen sie unverstärkt eine Auswechslung nur in der Nähe eines Wandauflagers tragen. Auswechslungen, wie bei 18 in Gruppe B, bedingen daher meist eine Verstärkung des stützenden Balkens, wenn letzterer nicht zufällig eine geringe Weite überspannt.

³⁰⁾ Vergl. auch Art. 2, S. 2.

Das gewöhnlichste Hinderniß, welches Auswechselfungen bedingt, sind die Feuerungs-Anlagen; die Holztheile dürfen an diese nicht unmittelbar herantreten. Die Bestimmungen hierüber lauten verschieden; z. B. alle Holztheile sollen 20 cm von der Innenfläche der Rauchrohre oder 7 cm von der Aufsenkante der $\frac{1}{2}$ Stein starken Rohrwangen entfernt bleiben. In manchen Fällen kann man dieser Vorschrift durch Ausklinken der Balken (8 in Fig. 37) genügen, meist muß jedoch der auf die Rauchrohre stoßende Balken (5) ganz ausgewechselt werden.

Auch das Treppenhaus bietet regelmäsig Anlaß zur Auswechselfung der auf dasselbe stoßenden Balken mittels des Treppenwechsels (12). Dieser bildet die Flurkante am Treppenhaufe, hat meist eine grössere Zahl von ausgewechselten Balken aufzunehmen und muß daher als starker Unterzug ausgebildet werden, wenn die Balken nicht, wie meist der Fall ist, in der Nähe der Auswechselfung auf eine Mauer des Treppenhauses gelagert sind.

4) Gratbalken nennt man die ein Gebälke schräg durchsetzenden Balken, gegen welche die übrigen schief anlaufen (14 in Fig. 37.) In den Dachbalkenlagen entsprechen solche Gratbalken gewöhnlich den Grat- und Kehlsparren.

5) Wandbalken bilden den oberen Abschluß schwacher Scheidewände, welche in der Höhe der Balkenlage endigen. Sie liegen vollkommen auf der Wand auf. Sie sind in Fig. 37 bei D, 7 dargestellt, wenn man annimmt, daß die hier angeordnete Wand über der Balkenlage nicht weiter geht.

6) Bundbalken liegen ganz in der Richtung einer Holz- oder Fachwerkwand, in welcher sie zugleich das Rahmholz der unterliegenden und die Schwelle der überliegenden Gefchofswand bilden; sie nehmen also die Zapfen der Wand auf, sind aber meist breiter als diese (7 in Fig. 37).

7) Streichbalken sind Balken, welche an einer Wand hinstreichen. Scheidewände, welche mit $\frac{1}{2}$ Stein oder geringerer Stärke durch mehrere Gefchoffe gehen, müssen in jeder Balkenlage durch zwei Streichbalken (9) eingefasst werden. Soll ein Fußboden hergestellt werden, so müssen auch entlang allen anderen Mauern Streichbalken gelegt sein, welche mit den Balken parallel laufen, da man hier sonst den Fußboden nicht auflagern könnte; zu letzterem Zwecke müssen sie an vielen Stellen eingelegt werden, obwohl dadurch sehr enge Balkentheilungen entstehen. Die Auswechselfung (18) in B ist nur durch das Erforderniß eines Streichbalkens an der benachbarten Scheidemauer nöthig geworden.

Die Streichbalken können (bei 11) auch den Zweck haben, wichtige Wände (Treppenhausmauern) vor dem Einlagern von Balken zu schützen. Sie werden in diesem Falle durch die eingelagerten Balken sehr schwer belastet und daher nicht selten durch aus der Wand vorgekragte Consolen gestützt. (Siehe Fig. 3 bis 6, S. 5, so wie 11 in Fig. 37.)

Bei verschoffenen Gebälken läßt man die Balken der einen Gruppe gern durch die Wand in einen auf der anderen Seite liegenden Streichbalken (8 u. 14 in Fig. 37 u. 6 in Fig. 36) greifen, um hier eine innige Verankerung der Gruppen zu erzielen.

Schießen die Balken schief gegen eine Wand, so geben sie hier ungenügende Unterstützung für den etwa nothwendigen Fußboden; es werden dann kleine Streichbalken (13) als Wechsel zwischen den Hauptbalken erforderlich.

8) Giebelbalken sind die Streichbalken an der Giebelwand; sie heißen Ort balken, wenn sie ganz oder zum Theile auf einem Abfatze der Giebelwand liegen.

9) Dachbinderbalken sind die meisten Balken der Dachbalkenlage; sie erhalten diesen Namen, wenn über ihnen ein Dachgebirge entwickelt ist; sie haben dann meist den aus dem Dachbinder entstehenden wagrechten Schub aufzunehmen, da Sparren oder Streben in ihre Enden verfaßt sind.

10) Kehlbalken sind die Balken der Kehlgebälke im Dachstuhl; sie werden im nächsten Hefte dieses »Handbuches« (bei den Dachstuhl-Constructions) besprochen werden.

11) Mauerlatten, Wandlatten oder Mauerbänke (1) sind schwache Hölzer, welche auf, in oder vor den Mauern auf Consolen oder anderen vorkragenden Constructionstheilen liegen und ein gemeinsames Auflager aller Balken der Balkenlage abgeben. (Vergl. auch Art. 2, S. 2 u. Fig. 3 bis 7.) Sie haben den Zweck, die Last der Balken auf eine größere Länge der Mauer zu vertheilen, schwache Stellen (z. B. weite Fenster- und Thürbögen) zu entlasten und beim Zulegen als sicherer Anhaltspunkt für den Zimmermann zu dienen; sie schwächen aber, ganz in die Wand gelagert, letztere erheblich und werden in Folge ihrer wenig luftigen Lage leicht Anlaß zur Fäulnis der Hölzer.

12) Unter- und Ueberzüge (15) treten bei zu großer Spannweite der Balken bezüglich der Unterstützung der letzteren an die Stelle der Wände. Sie haben die von den Balken aufgesammelten Lasten zu tragen und werden daher in der Regel als kräftige Träger auszubilden sein. Unterzüge nehmen die Balken mittels Auflagerung, Ueberzüge mittels Anhängung auf. In Folge der erforderlichen Stärke ragen sie selbst dann noch gegen die Balkenlage vor, wenn sie auch, wie in Fig. 32 bis 35, die Höhe der Balken selbst mit ausnutzen. Da nun ein Vorsprung in der Deckenfläche gewöhnlich weniger hinderlich ist, als ein solcher im Fußboden, auch Auflagerung der Balken billiger und sicherer ist, als Anhängung, so kommen Unterzüge häufiger vor, als Ueberzüge. Nur für die Dachbalkenlage wird meist die Anordnung von Ueberzügen vorgezogen, weil im Dachraume der Vorsprung im Fußboden meist nicht störend ist. (Vergl. auch das im vorhergehenden Kapitel unter e Gefagte.)

Bei älteren Bauten findet man Unter- und Ueberzüge dadurch ersetzt, daß jeder der weit frei liegenden Balken zu einem verdübelten, verzahnten, offenen, armirten oder Gitterträger gemacht ist; bei neueren Constructions greift man in solchen Fällen lieber zur Verwendung eiserner Balken, da die oben genannten Anordnungen viel Constructionshöhe in Anspruch nehmen. Derartige Lagen von verstärkten Holzträgern werden daher hier nicht weiter berührt ³¹⁾.

Die aus den angeführten Hölzern bestehenden Balkenlagen durchsetzen das Gebäude nicht immer seiner ganzen Ausdehnung nach in der gleichen Höhenlage; vielmehr erhalten häufig einzelne an der Treppe liegende Räume den Fußboden in Höhe der Treppen-Ruheplätze, oder es werden noch besondere Theilungen einzelner Räume in die Mitte der Geschoßhöhe gelegt (Hängeböden). Die Anordnung der Decken in solchen Lagen bedingt die Ausbildung kleiner gefonderter Balkenlagen, welche ganz den obigen Regeln folgen.

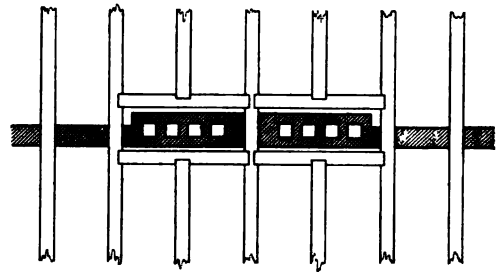
Beim Entwerfen einer Balkenlage trägt man in den fest gestellten Gebäudegrundriss zuerst alle nothwendigen Balken, d. h. die Giebel-, Ort-, Wand-, Bund- und Streichbalken, ein und theilt dann zwischen diesen die übrigen mit 80 bis 100 cm

19.
Entwerfen
der
Balkenlage.

³¹⁾ Vergl. darüber: GOTTGEBRE, R. Lehrbuch der Hochbau-Construktionen. Theil II: Die Arbeiten des Zimmermanns. Berlin 1882. Taf. XIII.

Theilmass für volle, mit 30 bis 60 cm Theilmass für Bohlenbalken ein. Da nun nicht für alle durch die nothwendigen Balken gebildeten Abschnitte gleiche Theilmasse zu finden sein werden, so fällt die Balkentheilung in verschiedenen Theilen des Grundrisses oft sehr verschieden aus, wobei die am weitesten gespannten Balken zweckmässig am engsten gelegt werden (siehe die Gruppe C in Fig. 37). Die so vertheilten Balken werden nun zum Theile auf die oben erwähnten Hindernisse: Schornsteine, Treppenhäuser, schwache Stellen in den Tragmauern u. dergl., stossen, welche dann durch Auswechselungen zu umgehen sind. Lange Stichbalken sollen vor der Auswechselung thunlichst durch eine Wand gestützt sein; ausgedehnte Auswechselungen in Folge einer grösseren Reihe von Rauchrohren, welche quer zu den Balken steht, vermeidet man, indem man die Rohre in zwei Gruppen theilt, zwischen welchen man einen Balken durchgehen lässt (Fig. 39). Liegen die Rauchrohre in einer dreieckigen Winkelausmauerung zwischen zwei Wänden, so ist vor derselben ein Wechsel schräg zu legen, welcher dann häufig mit beiden Enden auf den Mauern ruht.

Fig. 39.



Bei allen grösseren Auswechselungen ist es zu empfehlen, Wechsel und Stichbalken durch eiserne Klammern zu verbinden (12 in Fig. 37).

Beim Entwerfen ist ferner darauf zu achten, dass man, abgesehen von den in die Umfassungswände zu lagernden Balken, keine Theile bloß durch die Wände unterstützt, sondern alle Theile in einander lagert, wie z. B. die Wechsel 6 in Fig. 37, welche je an einem Ende auf eine Wand gelagert werden können, durch diese aber hindurchgeführt sind, um sie mittels Brustzapfen in den ersten getroffenen Balken zu lagern.

Der Grund hierfür liegt darin, dass die Mauern auf dem Zimmerplatze nicht vorhanden sind, man also alle Theile der gedachten Art beim Zulegen nicht unmittelbar unterstützen könnte, daher zu mittelbarem Einpassen greifen müsste, was dann leicht zu mangelhafter Ausführung verleitet.

Sind in solcher Weise die Balken vertheilt, so erfolgt die Stärkenbestimmung der einzelnen, wobei jedoch meist nur die Breite zu ermitteln ist, da aus Gründen der Anlage der Decken und Fußböden die Höhe aller Balken einer Balkenlage dieselbe sein muss. Es liegt auf der Hand, dass z. B. ein Streichbalken schmaler sein kann, als ein ganzer, weil er nur die halbe Last erhält. Soll der Streichbalken jedoch vor Rauchrohren (8 in Fig. 37) ausgeklinkt werden, so ist auf diese Schwächung Rücksicht zu nehmen. Eben so erhalten diejenigen Streichbalken volle Stärke, welche bestimmt sind, schwache Scheidemauern abzustützen.

Die Verzimmerung der so entworfenen Balkenlagen erfolgt auf dem Zimmerplatze durch zeichnungsgemäßes Zusammenfügen aller Hölzer, wobei alle Verbindungen zugeschnitten werden. Man beginnt mit der untersten Balkenlage, legt auf diese die zweite und so fort, bis alle Balkenlagen fertig verzimmerter über einander liegen. Nur so ist es möglich, sowohl genaues Zusammenfügen der Hölzer jeder einzelnen Balkenlage, wie genaues Uebereinstimmen der Balken der verschiedenen Geschosse zu erreichen; letzteres ist für genau lothrechte Aufführung der

so.
Verzimmerung
und Auflegen
der
Balkenlage.

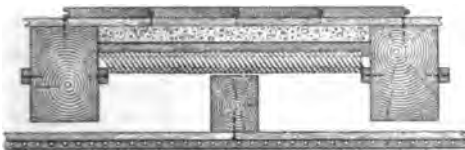
Mauern unbedingt erforderlich. Für den Zimmermann ist hierbei die Anordnung von Wandlatten äußerst bequem, welche ihm leichte Lagerung der Balken beim Zulegen und einfaches Festlegen der Masse der Umfassungswände gestatten. Welche großen Nachtheile aber übrigens die Mauerlatten unter Umständen für die Gebäude haben, wurde in Art. 18 (S. 33, unter 11) und in Art. 2 (S. 2) bereits erwähnt.

Das Aufbringen der verzimmerten Balkenlagen erfolgt, sobald die stützenden Mauern bis Balkenunterkante hoch geführt sind. Die Maurer müssen während des Verlegens zu arbeiten aufhören, und um diese Unterbrechung thunlichst zu verkürzen, muß man über die Gefammtheit der Arbeiten so verfügen, daß die Balkenlagen fertig zugelegt sind, bevor das Lager für die unterste hergerichtet ist. Nach dem Verlegen der Balkenlage erfolgt das in Kap. 7 (unter b) zu besprechende Einmauern der Balkenköpfe und die Weiteraufführung der Mauer des nächsten Geschosses.

Als besondere Arten von Balkenlagen sind zunächst die Blockbalkenlagen oder Dübelgebälke, auch Dübbel-, Döbel-, Diebel- oder Dippelgebälke geheißen (Fig. 4 bis 6 u. 25), zu erwähnen. Sie bestehen aus mit einander verdolten, dicht neben einander gelegten Balken, sind daher warm, stark und lassen den Schall nur wenig durch. Sie machen im Massivbau aber Schwierigkeiten bei der Einmauerung, müssen, wie in Fig. 4 bis 6, meist auf Auskragungen gelagert werden und finden sich daher jetzt nur noch in Ländern, wo niedrige Holzpreise und die feuerpolizeilichen Bestimmungen reinen Holzbau gestatten, bisweilen auch in Lagerhäusern auf eiserner Stützung (siehe Fig. 25, S. 20).

Häufiger sind Blindbalkenlagen (Fig. 40). Selbst bei sorgfältigster Herstellung einer Decke sind Durchdringen von Schall und Erschütterungen nicht ganz zu beseitigen, wenn dieselben Balken Decke und Fußboden tragen. Wird in reicheren Gebäuden völlige Undurchdringlichkeit verlangt, so legt man zunächst eine regelrechte Balkenlage zum Tragen des Verkehrs im oberen Geschosse an, befestigt dann aber die Decke des unteren nicht an derselben, sondern schiebt zu diesem Zwecke

Fig. 40.



befondere Balken in die Zwischenräume der ersteren ein, welche man Blind-, Fehl-, Fäll- oder Fallbalken nennt. Da dieselben nur die Deckenausbildung zu tragen haben, können sie erheblich schwächer sein, als die Hauptbalken, welche letztere hier und da zum Unterschied Sturzbalken geheißen werden. So geht durch diese Doppelanordnung keine oder doch wenig Höhe verloren. Selbstverständlich müssen die Blindbalken so tief liegen, daß auch die stärkste Durchbiegung der Tragbalken keinen mit diesen verbundenen Theil auf die Blindbalken setzt. Der Luftraum zwischen den beiden Balkenlagen und die völlige Trennung der Auflagerung halten Erschütterungen und Schall fast vollständig zurück. Diese Anordnung schützt auch

Fig. 41.

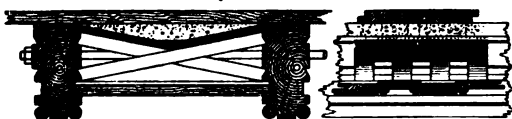


Fig. 42.



21.
Befondere
Arten von
Balkenlagen.

Fig. 43.

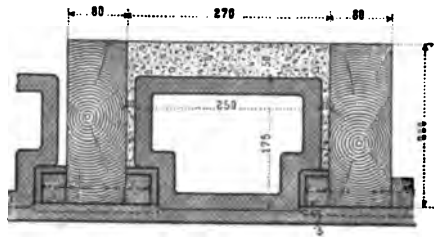


Fig. 44.

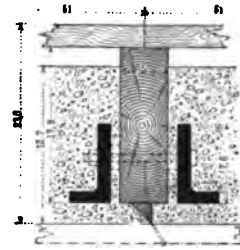
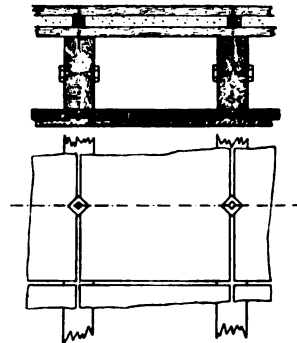
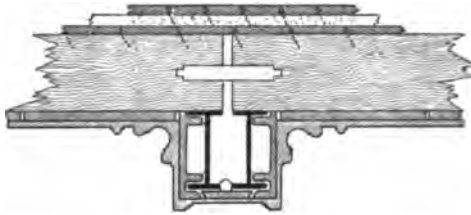


Fig. 45.



reiche Stuckaus schmückungen oder Deckenmalereien vor den von oben kommenden Erschütterungen.

In vielen Gegenden, z. B. in Nordamerika³²⁾, verwendet man der Holzerfparnifs wegen vielfach Bohlenbalken (Fig. 41 bis 47), d. h. Balken aus hochkantig gestellten, vollkantig geschnittenen Bohlen; da diese aber leicht umkanten, so müssen sie mindestens dicht an jedem Auflager durch zwischen sie eingezapfte Wechselstücke gegen einander abgespreizt werden. Andere Mittel zu ihrer Versteifung werden im Folgenden (unter 2) angegeben werden.

Dafs Balkenlagen, welche durchweg aus verstärkten Holzträgern bestehen, jetzt meist durch eiserne Tragwerke ersetzt werden, ist bereits erwähnt worden³³⁾.

22.
Holzart
und
-Sorte.

Als Holzart wird jetzt an Stelle der früher häufig verwendeten Eiche wegen der bedeutenden Holzlängen, des billigeren Preises und der guten Tragfähigkeit die Tanne, weniger gern die Kiefer verwendet. Die Lärche liefert vorzügliche Balken, ist aber selten.

Als Holzforte wird zu den Balken in der Regel Ganzholz verwendet; nur die schmalen Streichbalken können aus Halbholz gebildet werden. Das Gleiche gilt von den Nebentheilen der Balkenlagen; nur ganz untergeordnete Hölzer, z. B. kurze Wechsel an den Wänden zur Aufnahme der Dielenenden (13 in Fig. 37), können aus gewöhnlichem Verbandholz (Kreuzholz) hergestellt sein.

Tadellose Ausführungen sollen nur vollkantig geschnittene Hölzer enthalten; doch sind wesentliche Nachtheile für die Dauerhaftigkeit aus der Verwendung

³²⁾ Siehe: *American engineer* 1887, S. 20. — *Engng. news* 1890, S. 368. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2099.

³³⁾ Vergl.: GOTTGETREU, a. a. O., Taf. XIII.

waldkantiger (auch wahnkantig genannt) Hölzer nicht zu befürchten, wenn diese nur vollkommen von Borke, Bast und Splint befreit und so weit beschlagen (gebeilt) sind, daß die Balkenlager genügend große ebene Auflagerflächen besitzen und erforderlichenfalls Fußboden und Decke regelrecht angebracht und befestigt werden können.

b) Ausfüllung der Balkenfache.

(Fehlböden oder Zwischendecken.)

Unter dieser Ueberschrift sollen alle diejenigen Ausfüllungsanordnungen für die Balkenzwischenräume (Balkenfache) zusammengefaßt werden, welche den Zweck haben, die Decke undurchdringlich gegen den Schall und Wärmeunterschiede zu machen. Es sind daher hier schlechte Wärme- und Schallleiter in zweckentsprechender Weise zu verwenden. Mangelhafte Ausbildung dieser Zwischendecken bildet einen der hauptfächlichsten Gründe für die Ungemüthlichkeit und ungesunden Eigenschaften der Wohnungen in billig hergestellten Speculationsbauten.

^{23.}
Uebersicht.

Es werden hier zu besprechen sein:

- 1) Balkenlagen ohne Ausfüllung;
- 2) Dübelböden;
- 3) Windelböden;
- 4) Einschubböden, und
- 5) Befondere Anordnungen.

1) Balkenlagen ohne Ausfüllung.

Hierher gehören zunächst die Dübelgebälke, weil bei diesen die Balken (meist flach gelegte Halbhölzer) selbst die Ausfüllung bilden. Um die Fugen zu schließen, verstreicht man sie von oben mit Lehm und deckt dann zur Schalldämpfung die Balken mit 7 bis 10 cm Füllung oder Bettung (meist trockenem feinem Sande) ab (Fig. 4 bis 6, S. 5). Soll ein Fußboden aufgebracht werden, so werden in diese Füllung in Abständen von 0,8 bis 1,0 m Lager aus Bohlen von 5 cm Dicke und 12 cm Breite eingebettet, welche den Fußboden unmittelbar tragen und Polster- oder Lagerhölzer genannt werden. Durch letztere erzielt man eine schlichte Lagerung der Fußbodenbretter, welche auf den nicht genau geschnittenen Balken kein ebenes Auflager finden würden, und vermeidet das unmittelbare Uebertragen von Erschütterungen. Sorgfältiger Fugenverfrich ist erforderlich, weil sonst die Füllung durchrieselt.

^{24.}
Dübelgebälke.

In Fig. 25 (S. 20) fehlt die Bettung, und der Fußboden ruht unmittelbar auf dem Dübelgebälke, weil es hier auf leichteste Anordnung in erster Linie ankam³⁴⁾.

In gewöhnlichen Balkenlagen fehlt die Ausfüllung nur in Gebäuden, welche Lagerzwecken oder gewerblichen Betrieben dienen, nie in Wohngebäuden, aber besonders häufig da, wo die Balkenlagen sehr schwer belastet werden sollen (in Speicherräumen, siehe Fig. 15, S. 11), um die Decke an sich thunlichst leicht zu halten. Solche Decken schließen die Heizbarkeit einzelner Geschosse aus und lassen auch die schwächsten Schallwellen durch. Ist eine Deckenschalung in engerem Sinne unter den Balken angeordnet, so entstehen in den ganz offenen Balkenfeldern beliebte Schlupfwinkel für Ungeziefer.

³⁴⁾ Fig. 25 entspricht etwa der Anordnung des Brookthor-Speichers in Hamburg, wo das Eigengewicht thunlichst gering zu halten war, weil die Stützen ohnedies schon sehr schwer wurden.

2) Dübelböden.

25.
Construction.

Dübelböden entstehen durch Einfügen dicht gelegter schwächerer Verbandhölzer zwischen die Balken, welche mit einander verdübelt (verdolt) werden. Liegen diese Hölzer parallel zu den Balken, so werden sie durch eingezogene hölzerne Wechsel (Fig. 48) oder Bügel aus Bandeisen (Fig. 49) getragen; liegen sie winkeltrecht zu den Balken, so zapft man sie in diese ein (Fig. 50), wobei jedoch die Balken durch Nuthen erheblich geschwächt werden; diese Nuthen sollen thunlichst

Fig. 48.

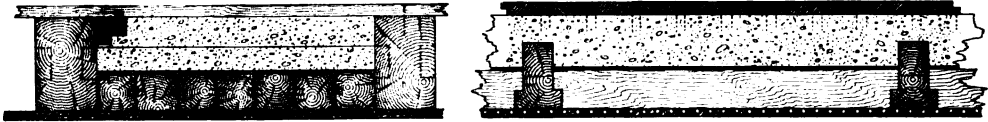


Fig. 49.

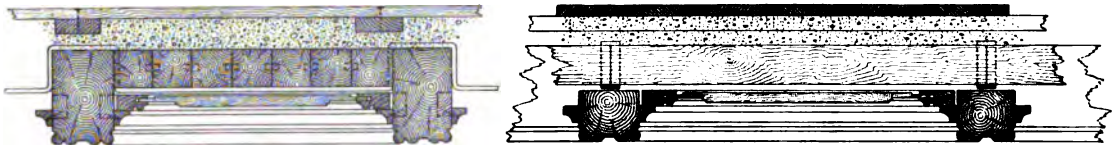
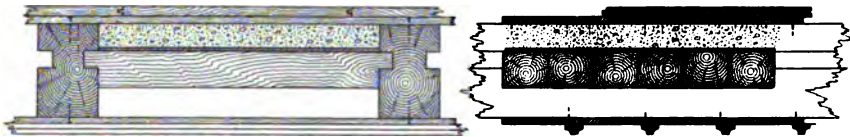


Fig. 50.



in der Mitte der Balkenhöhe liegen. Die Füllhölzer werden unten bündig mit den Balken gelegt, wenn die Gefache ganz ausgefüllt werden sollen (Fig. 48); genügt theilweise Füllung, so legt man sie weder oben, noch unten bündig (Fig. 50). Will man den bei den beiden vorigen Anordnungen unmittelbar auf die Balken zu lagernden Fußboden von diesen ganz trennen, so legt man die Füllhölzer oben bündig und bettet besondere Fußbodenlager von etwa 5×12 cm Querschnitts-abmessung in eine Sandüberschüttung ein (Fig. 49). Unter allen Umständen sind auch hier die Fugen der Füllhölzer gut zu verstreichen. Derartige Zwischendecken sind wegen des Holzaufwandes und der Feuergefährlichkeit selten.

3) Windelböden und Wickelböden,
Wellerungen und Stakungen.26.
Construction.

Diese Namen bezeichnen fämmtlich solche Ausfüllungen der Balkenfache, welche aus mit Strohlehm umwickelten Weller- oder Stakhölzern hergestellt sind. Man verwendet dazu gefaltnes Knüppelholz (eichen) oder gefaltene Schwarten von Eichen-, Tannen- und Kiehn-Schmitt-hölzern. Die Umwicklung erfolgt mit Langstroh, welches, zum Zwecke dichten Schlusses der Wellerhölzer gegen Wärme und Kälte, mit dünnem Lehm-brei gefättigt ist. Bei billigerer Ausführung legt man die unumwickelten Stakhölzer auch wohl dicht zusammen und deckt sie mit einer Lage von Krummstroh mit Lehm ab; die Wicklung ist jedoch vorzuziehen. Ueber

die Wellerung bringt man zur Verbefferung der Dichtigkeit einen an den schwächsten Stellen 2^{cm} dicken Lehmſchlag, und die ſo geſchloſſene Ausſtattung nimmt dann die eigentliche Füllung oder Bettung auf, nachdem die naß eingebrachte Lehmmaſſe vollkommen ausgetrocknet iſt.

Als Füllung verwendet man am beſten reinen, feinen, trockenen Sand, ſchwefelfreie Hochofenſchlacke oder Schlackenwolle. Dieſe Stoffe ſtäuben wenig oder gar nicht. Nicht ſo gut, aber viel im Gebrauch, ſind Bauſchutt, trockene Kohlenafche³⁵⁾ und ungewaſchener Sand, welche alle viel Staub geben. Die Füllſtoffe ſollen jedenfalls vollkommnn frei von organiſchen Beimengungen ſein, da ſie ſonſt die Luft in den Räumen verderben. Füllungen mit Sägemehl, Moos, Häckſel u. dergl. ſind zwar an ſich vorzüglich, aber ihrer großen Feuergefährlichkeit wegen verboten. Der fehr leichte Torfgruß ſcheint ſich — als nicht feuergefährlich — gut zu behähren.

27.
Füllung.

Ganz beſonders geeignet in geſundheitlicher Beziehung iſt Kieſelguhr; doch iſt deren Preis verhältnißmäſig hoch.

Wird ein Fußboden aufgebracht, ſo muß die Füllung oben die Fußbodenunterfläche thunlichſt in allen Punkten berühren, da ein Hohlliegen der Fußböden den Lärm des auf ihnen ſtattfindenden Verkehrs weſentlich verſtärkt, wenn der Fußboden nicht ſelbſt fehr ſtark — etwa doppelt — iſt.

Auf die richtige Wahl des Füllſtoffes wird mit Recht ein ganz beſonderer Werth gelegt, und die Schwierigkeit, nach allen Richtungen einwandfreie Füllſtoffe zu erhalten, bildet einen der hauptſächlichſten Gründe, welche gegen die biſher meiſt üblichen Ausfüllungen der Balkenfache mit loſen Füllſtoffen ſprechen.

Neben der Vermeidung von Staubbildung, welche, wie bereits erwähnt, namentlich bei Afche, unreinem Sande und Bauſchutt auftritt, und von fäulniſerregender Einwirkung auf die benachbarten Holztheile, welche eintritt, wenn der Füllſtoff dauernd Feuchtigkeit aus der Luft auffaugt und organiſche Beſtandtheile, inbeſondere Pilzſporen, enthält, kommt namentlich die Einwirkung des Füllſtoffes auf die geſundheitlichen Verhältniſſe der Innenräume in Frage.

Einen allen dieſen Anforderungen entſprechenden Füllſtoff erhält man durch Waſchen und nachfolgendes Ausglühen von Sand, ein Verfahren, das z. B. beim neuen Regierungsgebäude in Hildesheim ſtreng durchgeführt wurde³⁶⁾.

Die dort verwendete Vorrichtung zum Ausglühen beſtand in einem einer Waſſerſchnecke gleichenden, geneigt liegenden Trommelofen von 40^{cm} Durchmesser und 175^{cm} Länge, durch welchen der Sand bei der Umdrehung der Trommel von einer Schraubensfläche aus Blech langſam unter ſtetem Aufrühren hindurchgeſchoben wurde. Die etwa 250^{kg} ſchwere Vorkehrung koſtete 150 Mark. Die Stellung des Geräthes und das Ausglühen waren dem Unternehmer vertragsmäſig aufgegeben.

Beſonders beachtenswerth ſind die Verſuche, welche *R. Koch* über den Einfluß der Füllſtoffe, inbeſondere der Kieſelguhr (Diatomeen-Erde von Unterlüß), auf die Entwicklung von Bacterien angeſtellt hat³⁷⁾.

Koch fand in 1^{ccm} der Diatomeen-Erde nur etwa 3 bis 4 Bacterien und ſtellte 15,6 Procent Glühverlust feſt, worin aber die Verwandlung unorganiſcher Stoffe beim Glühen einbegriffen iſt. Bei dem Verſuche der Vermengung mit Typhus-, Cholera- und Eiter-Bacillen enthaltender Nährbouillon zeigte ſich, daß die Miſchung mit trockener Kieſelguhr ſchwierig war, weil die Bouillon in Tropfen zuſammenlief und erſt nach langer Zeit aufgeſogen wurde; mit feuchter Kieſelguhr erfolgte die Miſchung leicht.

³⁵⁾ In manchen Theilen Süddeutſchlands verwendet man zur Füllung fog. Steinkohlenlöſch; dieſe ſind die Rückſtände der Dampfkeſſelfeuerungen: Schlacke und Afche; dieſer Stoff wird trocken und thunlichſt rußfrei eingebracht.

³⁶⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 199.

³⁷⁾ Siehe ebendaſ., S. 332.

In der trockenen Diatomeen-Erde hatten die Cholerakeime nach 14 Tagen, die Typhuskeime nach 21 Tagen ihre Keimfähigkeit verloren; die Eiterkeime blieben entwicklungsfähig. Bei guter Mischung mit feuchter Kieselguhr starben dagegen die Cholera-Bacillen sofort, die Typhus- und Eiterkeime nach 8 Tagen ab. Dieses Verhältniß ist günstig, weil die Bacillen nicht anders, als mit viel Wasser in die Füllung gelangen können. Die Wirkung schreibt *Koch* der Beimengung von schwefelsäueren Salzen zu, welche bei der Aufbereitung der Infusorienerde mittels Schwefelsäure entstehen.

Was die Aufnahmefähigkeit von Feuchtigkeit anlangt, so verhalten sich verschiedene Füllstoffe, wie folgt. Es enthält an Wasser

	Kieselguhr	Bauschutt	Afche	getrockneter Sand
in lufttrockenem Zustande	7,8	1,7	1,18	0,18 Procent,
bis zum Abtropfen mit Wasser gefättigt . .	223	27,8	86,8	17,8 „

Danach wird die Kieselguhr unter Umständen noch trocken bleiben, unter welchen die übrigen Füllstoffe, namentlich Sand, bereits völlig durchnäßt sind. Allerdings erfolgt die Wasseraufnahme bei der Diatomeen-Erde wegen des 86 Procent betragenden Porenraumes sehr langsam, so daß bei plötzlichen Ueberfluthungen ein Durchsickern des freien Wassers eintritt. Dagegen wirkt die außerordentliche Aufnahmefähigkeit für Wasser in längerer Zeit dauernd austrocknend auf die umgebenden Bauteile und Räume ein.

Der Grad des durch die verschiedenen Füllstoffe erzielten Wärmeschutzes wurde fest gestellt, indem man ein Eisenrohr mit 2 cm Zwischenraum mit einem Blechrohre umhüllte, den Zwischenraum mit Füllstoff füllte und dann 45 Grad C. warmes Wasser in das Rohr brachte. Das Wasser kühlte in 110 Minuten ab

	in einem Mantel aus Kieselguhr	Bauschutt	Afche	Sand	Luft
auf	39	33,8	35,8	34,8	37,2 Grad C.;

die Diatomeen-Erde ist also auch in dieser Beziehung allen anderen Stoffen überlegen.

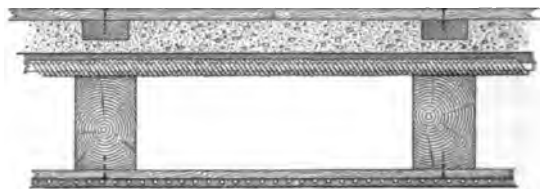
Das Gewicht von 1 cbm trockener Kieselguhr ist 302,7 kg, gegen 1762 kg von 1 cbm Sand und 842 kg von 1 cbm Afche; hiernach ist diese Deckenfüllung auch sehr leicht.

Leider sind die Kosten bedeutend; 1 cbm Kieselguhr, rosa geblüht, kostet 15 Mark (beste), ungeblüht mit grauer Farbe 10 Mark³⁹⁾.

Je nach der Höhenlage der Wellerung zu den Balken unterscheidet man den gestreckten, den halben und den ganzen Windelboden.

Der gestreckte Windelboden (Fig. 51) entsteht, wenn man lange Wellerstangen über die Balken hinstreckt. Er wird vorwiegend verwendet, wo es auf billige Herstellung einer warmen Decke ankommt, welche nicht viel zu tragen hat, d. h. in landwirthschaftlichen Gebäuden; man deckt hier häufig nur einen etwas starken Lehm-schlag auf die Wellerung, womit Decke und Fußboden hergestellt sind. Da hierbei die schwachen Stakstangen die aufgebrachte Last nach den Balken übertragen müssen, so ist die Tragfähigkeit einer solchen Decke sehr gering. Soll ein regelrechter Fußboden hergestellt werden, so bringt man Füllungsmaterial in einer

Fig. 51.



³⁹⁾ Ueber die gesundheitliche Bedeutung des Füllstoffes für die Balkenfache siehe auch noch:

EMMERICH, R. Die Verunreinigung der Zwischendecken unserer Wohnräume in ihrer Beziehung zu den ektogenen Infektionskrankheiten. Zeitschr. f. Biologie 1882, S. 253.

Die Zwischendecken in Wohnhäusern als Krankheits-Heerde. Deutsche Bauz. 1883, S. 35.

RECKNAGEL. Vortheile und Nachtheile der Durchlässigkeit von Mauern und Zwischenböden der Wohnräume. Deutsche Viert. f. öff. Gesundheitspf. 1885, S. 73.

NUSSBAUM, CH. Hygienische Forderungen an die Zwischendecken der Wohnhäuser. Archiv f. Hygiene, Bd. 5, S. 264.

Verunreinigung der Zwischendecken der Wohnräume und ihr Einfluß auf die Gesundheit der Bewohner. Mittel zur Verhütung und Bekämpfung der Verunreinigungen. Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 329.

Die hygienischen und technischen Anforderungen an Zwischendecken in Wohngebäuden. Deutsches Bauwksbl. 1887, S. 535.

HEINZELMANN, H. Die Fehlböden (Zwischendecken). Ihre hygienischen Nachtheile und deren Vermeidung. München 1891.

FALKENHORST, C. Das Buch von der gefunden und praktischen Wohnung. Heft 1: Unsere unsichtbaren Feinde. Leipzig 1891.

Stärke von 8 bis 10 cm (Fig. 51) auf den Lehm Schlag und lagert in diesen die Fußbodenlager gerade über den Balken ein, um die Last thunlichst unmittelbar auf diese zu bringen. Da aber der Fußboden auf der Füllung liegt und die Lager in letztere eingedrückt werden, so ist eine Lastübertragung durch die Stakung auch so nicht ganz zu umgehen.

Vortheilhaft ist die Verwendung des gestreckten Windelbodens bei Anordnung von Blindbalkenlagen (Fig. 52), weil die Balkenfache für die Blindbalken ganz frei bleiben, diese also hoch, d. h. leicht ausgebildet werden können. Von allen Windelböden ist der gestreckte auch der leichteste, belastet also die Balken am wenigsten. Durch die vollständige Auflagerung auf die Balken geht aber den übrigen Decken-Constructionen gegenüber Höhe verloren, und die deshalb anzustrebende Dünnhheit der Decke beeinträchtigt die Dichtigkeit gegen Wärme und Schall. Die Unzuträglichkeiten, welche aus den völlig hohlen Balkenfachen bezüglich des Ungeziefers entstehen, wurden oben bereits erwähnt.

Der halbe Windelboden (Fig. 52) entsteht, wenn man die Wellerung innerhalb der Balkenfache etwa in halber Höhe der Balken anbringt, so daß der Fußboden

29.
Halber
Windel-
boden.

Fig. 52.

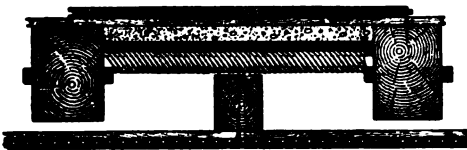
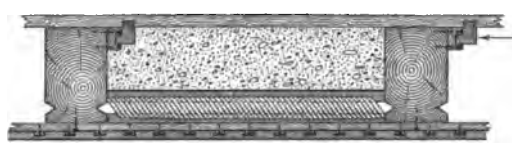


Fig. 53.



unmittelbar auf die Balken gelagert werden kann. Die Wellerhölzer werden auf Weller- oder Stakleisten gelagert (Fig. 52) oder in Weller- oder Staknuthen, welche man in entsprechender Höhe an den Balken anbringt, eingeschoben (Fig. 53).

An sich sind beide Anordnungen gleichwerthig; jedoch werden die Leisten meist vorgezogen, weil das Annageln derselben einfacher ist, als das Einstoßen der Nuthen in die meist wahnkantigen Balken. Auf die Wellerung bringt man, wie früher, Lehm Schlag und Füllung. Da der Fußboden nun unmittelbar auf den Balken ruht, so ist die Stakung der Last fast ganz entzogen. Diese Ausfüllung der Balkenfache ist die bei den Windelböden jetzt am meisten verwendete; sie wird um so dichter, aber auch um so schwerer, je weiter unten man die Stakung einsetzt.

Die schwachen, meist aus Schwartenbrettern gespaltenen Wellerhölzer sind für Fäulnisvorgänge günstige Angriffspunkte, und man hat sie daher, nebst den Wellerleisten, vereinzelt wohl durch aus Rechteckeisen geschnittene Leisten und Stäbe ersetzt³⁹⁾, wodurch man selbstverständlich zu nicht unbeträchtlich höheren Kosten gelangt.

Eine gewöhnliche Balkendecke mit halbem Windelboden, Fußboden und Putzdecke, 35 cm dick, 6 m frei tragend, kostet für 1 qm Grundfläche etwa 15 bis 16 Mark⁴⁰⁾.

Der ganze Windelboden (Fig. 53) ist dem vorigen in allen Einzelheiten gleich, unterscheidet sich von demselben nur dadurch, daß die Wellerung genug weit unten angeordnet wird, um die Deckenschalung einen unter der Stakung angebrachten dünnen Lehmputz in allen Punkten berühren zu lassen. Diese Ausfüllung der

30.
Ganzer
Windel-
boden.

³⁹⁾ Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2099.

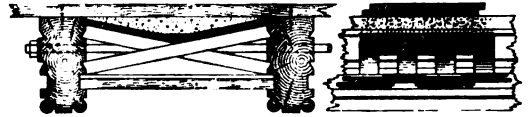
⁴⁰⁾ Siehe: *Centralbl. d. Bauverw.* 1886, S. 134, 143; 1890, S. 65.

Balkenfache ist die dichteste, aber auch schwerste von allen Windelböden; sie empfiehlt sich daher für gut ausgestattete Wohngebäude, nicht jedoch an solchen Stellen, wo es auf das Tragen schwerer Lasten ankommt; sie wird übrigens, des großen Gewichtes wegen, nur wenig verwendet.

31.
Kreuz-
stakung.

Eine von den vorigen abweichende Art der Stakung ist die Kreuzstakung, bei welcher die meist unumwickelten Stakhölzer mit abwechselnder Neigung nach links und rechts zwischen die Leisten oder Nuthen (Fig. 54) der Balken eingesetzt werden. Diese schrägen Stakhölzer bilden eine sehr wirkfame Abstreifung der Bohlenbalken⁴¹⁾ gegen Kanten und Werfen. Sie wirken wie Streben kleiner Hängewerke, welche die auf einen Balken kommende Last auf die beiden Nachbarn mit übertragen, somit die ganze Balkenlage tragfähiger machen.

Fig. 54.

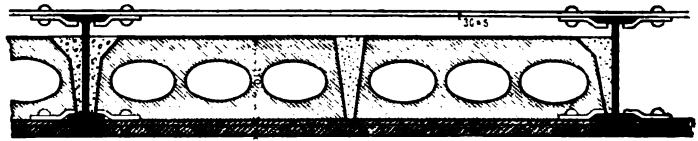


Die wagrechte Seitenkraft dieser Strebendrucke kann von den schmalen Balken jedoch nicht aufgenommen werden, deren seitliche Durchbiegung die Strebenwirkung aufheben würde. Zur Aufhebung dieser wagrechten Seitenkraft werden daher in Abständen von etwa 2 m Rundeisenanker durch die Balkenlage gezogen, welche man durch in der Mitte angebrachte Mutter-schlösser mit Gegengewinde⁴²⁾ in Spannung bringt. Um die unbequeme Bohrung aller Balken zu vermeiden, kann man diese Rundeisenanker zweckmäÙig durch auf und unter die Balken genagelte Bandeisen ersetzen, wie sie für eiserne Balken in Fig. 55 u. 56 angegeben sind. Bei Bretterfußböden wird die Aufhebung der wagrechten Kräfte jedoch auch schon durch die quer zu den Balken laufenden und an diese angenagelten Fußbodendielen, bezw. Deckenschalbretter bewirkt; unbedingt nothwendig sind die Anker also nur, wenn solche Bretterlagen ganz oder, wie in Fig. 54, zum Theile fehlen.

Fig. 55.



Fig. 56.



Ueber die Stakhölzer bringt man zunächst behufs Schließens der gebliebenen Oeffnungen eine Lage von Langstroh mit Lehm und Lehm Schlag, darauf dann die Füllung.

4) Einschubböden.

32.
Constru-
ction.

Einschubböden sind den Windelböden gleichfalls sehr ähnlich; nur bringt man in die Nuthen oder auf die Leisten der Balken statt der Stakhölzer Schwartenbretter. Der Einschub wird entweder einfach (Fig. 57 u. 58, rechtes Fach) oder als Stülp-lage (Fig. 59) ausgebildet; bei beiden werden die Fugen sorgfältig mit Lehm verstrichen und mit Lehm Schlag überdeckt. Die über diesem liegende Füllung ist meist

⁴¹⁾ Siehe: *American engineer* 1887, S. 230.

⁴²⁾ Siehe: Theil III, Band 1 dieses »Handbuches«, Fig. 448, S. 163 (2. Aufl.: Fig. 458, S. 176).

Fig. 57.

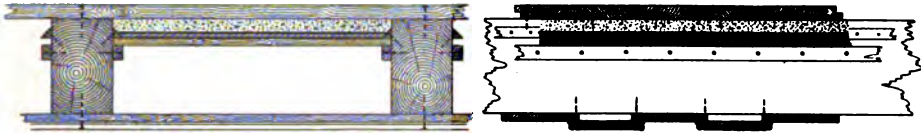


Fig. 58.

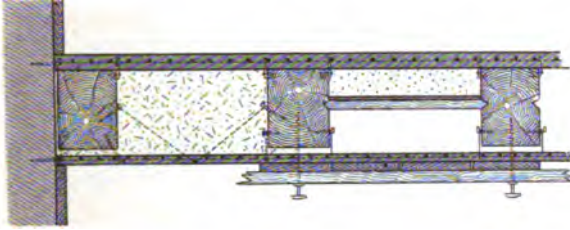
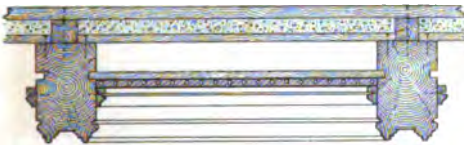


Fig. 59.



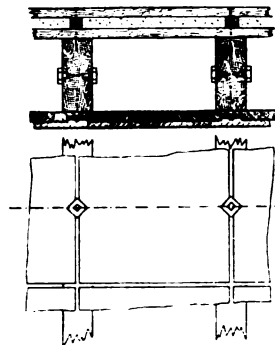
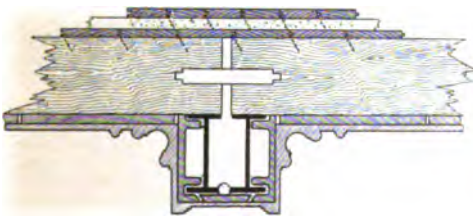
nur wenige Centimeter stark, und der grösste Theil der Balkenfache bleibt frei. Liegen die Einschubbretter auf Leisten, so wird wohl auch eine dreieckige Leiste über dieselben genagelt (Fig. 57), um ein Ausheben der Bretter auszuschliessen. Die Stülpdecke (Fig. 59) hat vor den neben einander liegenden Brettern des einfachen Einschubes den Vortheil größerer Dichtigkeit. Sind Nuthen zum Anbringen des Einschubes vorgesehen, so muß man an den Enden der Balken bis auf die Nuthen hinunter Ausschnitte von Brettbreite anbringen, um die letzten Einschubretter in die Nuthen einbringen zu können. Wegen ihrer Leichtigkeit ist diese Einschubdecke sehr beliebt und wird häufiger verwendet, als der halbe Windelboden, dem sie jedoch an Dichtigkeit nachsteht.

Fig. 60.



Ganz besonders leicht kann die in Fig. 60 dargestellte Abart dieser Decke hergestellt werden. Hier ruhen die Bretter oben auf den Balken zur Seite oder unterhalb (Fig. 61) kleiner, den Fußboden tragenden Aufschieblinge; nach Verfrich der Bretter wird der entstehende Zwischenraum zwischen den Aufschieblingen mit Füllung geschlossen. Diese Decke ist weder gegen

Fig. 61.



Schall noch Wärmeübertragung dicht, belastet aber die Balken sehr wenig und wird daher in solchen Gegenden verwendet, wo der schlechte Untergrund thunlichst leichte Anordnung aller Gebäudetheile verlangt.

Besonders schwer wird die Decken-Construktion, wenn man, wie dies in Oesterreich üblich ist, die Stülpdecke — dort Sturzboden genannt — auf die

Balken aufnagelt, alsdann die Füllung aufbringt und in letztere die Fußbodenlager verlegt. Die Dichtheit einer solchen Decke ist eine große, aber auch die für dieselbe erforderliche Constructionshöhe eine bedeutende.

33.
Rabitz's
Balkendecken.

Eine in der Zusammenfassung sehr einfache Balkendecke, welche einen hohen Grad von Feuerficherheit besitzt und weder Wellerung, noch Einschub erfordert, ist die nach dem Patent *Rabitz* construirte (Fig. 58 linkes Fach⁴³⁾. Auf die in Art. 44 zu besprechende Deckenputzlage wird unmittelbar eine die Balken auch unten noch umgreifende Fachfüllung aus Torfstreu gebracht, welche das Balkenfach bis oben hin füllt. Da Torfstreu an sich nicht leicht und nur bei starker Luftzuführung brennt, die Füllung hier durch die widerstandsfähige Putzlage noch sehr wirksam vor Hitze und Luftzug geschützt wird, so ist von dieser Decke in der That eine gute Wirkung bei Feuersbrünsten zu erwarten, wenn auch von oben her für den erforderlichen Schutz geforgt ist, wie in Fig. 58 durch den nach *Rabitz* hergestellten Fußboden. Die Decke ist dabei sehr leicht und auch warm und dicht.

5) Befondere Anordnungen.

34.
Decken
mit
Wölbkappen.

In Fällen, wo besondere Dichtheit der Decken verlangt wird (z. B. zwischen Ställen und Futterböden) hat man zwischen die Balken gewölbte Kappen aus Backsteinen eingesetzt. Die Anordnung ist nicht zu empfehlen, da die Balken durch das Anschneiden der Kämpferflächen wesentlich geschwächt (Fig. 62) und durch das Abschließen gegen die Luft mittels der Feuchtigkeit anfaugenden Mauerwerkes der Gefahr schnellen Faulens ausgesetzt werden. Der Bogenschub ist, wenn er nicht durch die Umfassungswände aufgehoben werden kann, durch eiserne Verankerungen aufzunehmen.

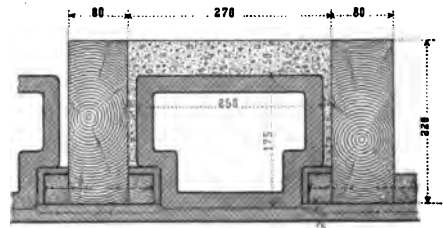
Fig. 62.



35.
Decken
von
Laporte.

Mehr ist die in Fig. 63 dargestellte Art der Fachausfüllung mit Hohlsteinen, System *Laporte*, zu empfehlen, welche wegen der nicht sehr großen Abmessung der gebrannten Hohlsteine eine eng getheilte Balkenlage aus Bohlenbalken (siehe Art. 21, S. 35) voraussetzt. Diese Anordnung, bei welcher die Unterflächen der Steine zur Aufnahme des Putzes gerieft, die Balken in gewöhnlicher Weise bohrt oder mit Pflasterplatten benagelt sein müssen, ist in Frankreich vielfach ausgeführt⁴⁴⁾.

Fig. 63.



Derartige Decken sind vergleichsweise leicht und haben den großen Vorzug, trotz der hölzernen Balken wenigstens von unten fast vollständig vor Feuer geschützt zu sein. In Deutschland können die großen hohlen Thonformen bislang nur zu hohem Preise bezogen werden, da ihre Anfertigung nur von wenigen Thonwerken auf Bestellung erfolgt. Die *Grande Tuilerie de Bourgogne* zu Montchanin-les-Mines liefert 1 qm der hohlen Terracotten zu etwa 3 Mark.

⁴³⁾ D. R.-P. Nr. 3789.

⁴⁴⁾ Hohle Terracotten nach Patent *Laporte* liefert die *Grande Tuilerie de Bourgogne* in Montchanin-les-Mines. — Ueber derartige Decken siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 202. — *Annales industrielles* 1885, II, S. 39. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2119. — *Le génie civil*, Bd. 16 (1890), S. 316.

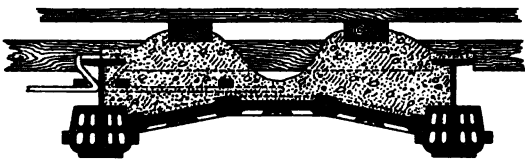
Eine ähnliche Anordnung mit Hohlsteinen zeigt auch Fig. 64, nach welcher auch breitere Gefache ausgefüllt werden können. Hier ist für den Deckenputz besondere Schalung anzubringen, und der Vortheil des Schutzes gegen Feuer entfällt.

Fig. 64.



Derartige Plattenwölbungen, für welche die Widerlager durch entsprechend geformte seitliche Einschubleisten an den Balken gewonnen werden, können aus hohlen Platten oder einfachen oder auch doppelten Lagen voller Platten mit Luftzwischenraum auch in der Weise ausgebildet werden, daß man die Wölbung

Fig. 65.



wie in Fig. 65 aus mehr als zwei Platten in jedem Balkenfache herstellt⁴⁵⁾. Die von unten sichtbaren Platten werden in Frankreich und Belgien verziert und glasiert. Ein besonderer Schutz der Balken gegen Feuer erscheint nicht erforderlich, weil die in Gyps versetzten und mit Gyps überdeckten Platten

doch keine feuerichere Decke ergeben, da der Gyps bei mässiger Hitze schon zerfällt.

Hierher gehört auch die gleichfalls aus Frankreich und Belgien stammende Ausfüllung mit den Dachziegeln ähnlichen Thonfliesen⁴⁶⁾, wie sie in zwei Ausbildungen in Fig. 66 u. 67 dargestellt sind.

Fig. 66.



Fig. 67.



Fig. 66 zeigt eine Zwischendecke aus zwei Reihen mit Gyps verstrichener, gegen einander gelehnter Thonfliesen, unter der dann eine der Dichtigkeit wegen mit Gyps überfüllte Deckenschalung zu besonderer Ausbildung der Decke angebracht ist. In Fig. 67 bleiben die Balken unten sichtbar und sind

daher verziert; die hier wagrecht aufgelegten vertieften Thonfliesen sind unten glasiert, gegen die Balken mit Gyps verstrichen und geeignet, zur Erhöhung der bei der dargestellten Construction nur geringen Dichtigkeit eine Lage Füllstoff aufzunehmen. Diese Decken sind außerordentlich leicht, aber auch wenig dicht.

Solche Decken ermangeln der Feuerficherheit gänzlich, und in Fig. 67 wirkt auch die aus schmalen, vertieften Feldern gebildete Unteransicht nicht sehr günstig.

Einen erheblich billigeren Ersatz der Ausfüllungen mit hohlen Terracotten durch einheimische Baustoffe bietet die Ausfüllung mit rheinischen Tuff- oder sonstigen leichten Schwemmsteinen (Fig. 68), welche nahezu eben so leicht und nicht minder

Fig. 68.



dicht für Wärme und Schall ist, als die Terracotta-Decke⁴⁶⁾. Da man die Balkenfache bei $1\frac{1}{2}$ Stein Spannweite mit Steinen aussetzen kann, ohne Schübe auf die Balken fürchten zu müssen, so kann die Balkentheilung weiter gewählt werden, als bei der Anordnung in Fig. 63. Die Sicherung der Balken gegen Feuer ist in Fig. 68 derjenigen in Fig. 64 gleichwerthig. Die

Tragfähigkeit der Schwemmstein-Ausfüllung ist bei der geringen Festigkeit dieser Steine kleiner, als die der Terracotta-Decken; doch kommt dieser Unterschied hier nicht in Betracht, da bei der geringen Balkentheilung aller dieser Anordnungen die Fußbodenbretter die Lasten ganz auf die Balken übertragen und die Füllung nahezu unbelastet bleibt.

36.
Andere
Ausfüllungen
mit
Thonplatten.

37.
Ausfüllungen
mit
leichtem
Steinmaterial.

⁴⁵⁾ Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

⁴⁶⁾ Siehe: *Deutsche Bauz.* 1886, S. 3.

Eine ausgezeichnete Fachausfüllung, welche neuerdings viel Verwendung findet, ergeben die *Mack'schen* Gypsdielen⁴⁷⁾. Die Decke nach Fig. 71 kostet, mit Gypsdielen (statt der in die Abbildung eingetragenen, weiter unten zu besprechenden Spreitafeln) ausgestattet, etwa 13,5 Mark für 1 qm⁴⁸⁾. Die Dielen werden auf Wellerleisten verlegt und in den Fugen mit Gyps verstrichen. Liegen sie oben bündig, so kann man hölzerne Fußbodentheile unmittelbar auf sie aufschrauben; unten mit den Balken bündig liegende können unmittelbar den Deckenputz aufnehmen, wenn man die Balkenunterflächen vorher bohrt hat. Die Tragfähigkeit genügt selbst für große Weiten der Balkenfache. Derlei Decken sind sehr leicht, dicht und warm, zwar wegen des Zerfallens des Gypses in der Hitze nicht feuersicher, doch aber ziemlich widerstandsfähig gegen Feuer, weil auch der zerfallene Gyps die zähen Beimengungen noch leidlich schützt und einigen Zusammenhalt wahr.

Eben so dicht und warm, noch leichter, aber weniger feuersicher und tragfähig ist die Füllung mit Korksteinen⁴⁹⁾, welche wegen der geringen Tragfähigkeit einer Unterlage von Stahnhölzern oder Einschubdielen bedürfen (Fig. 69). Die Fugen der Platten sind zu verstreichen, und über den Platten wird noch eine wenige Centimeter starke Füllung eingebracht. Abgesehen von der Unterlage von Wellerhölzern ist diese Decken-Construction jener aus Gypsdielen fast ganz gleich; letztere erscheint aber wegen der größeren Tragfähigkeit und wegen der Möglichkeit unmittelbaren Befestigens der übrigen Theile überlegen.



Fig. 69.

Nahe verwandt den Gypsdielen sind die Spreitafeln von *Katz*⁵⁰⁾. Die Bearbeitung mit Säge und Messer ist, wie bei Holz möglich; auch haften Holzschrauben vollkommen in der Masse. Eine Seite der Tafeln wird rauh geformt, damit sie Deckenputz unmittelbar aufnehmen können.

Wie Fig. 70 u. 71 zeigen, erfolgt die Deckenausbildung nach Art der halben Windelböden, bezw. Einschubdecken durch Auflagern der Spreitafeln auf Wellerleisten mit oder ohne Füllung, je nachdem die Art des aufzulegenden Fußbodens es erfordert. Die Anordnung nach Art des ganzen Windelhodens (Fig. 72), bei der kein Platz für Wellerleisten vorhanden ist, wird ermöglicht, indem man verzinkte Drähte, entweder winkelrecht zu den Balken d_1 oder im Zickzackmuster d_2 , in etwa 10 cm Abstand straff unter die Balken nagelt. Die Zickzackführung hat den Zweck, die Drähte nachträglich recht straff spannen zu können. Auf dieses Drahtnetz werden die Spreitafeln s lose aufgelegt. Die Fugen zwischen den Tafeln und an den

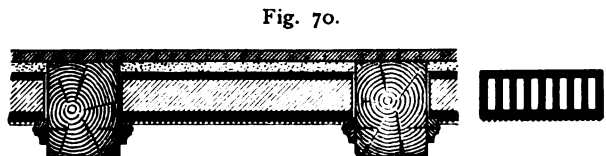


Fig. 70.

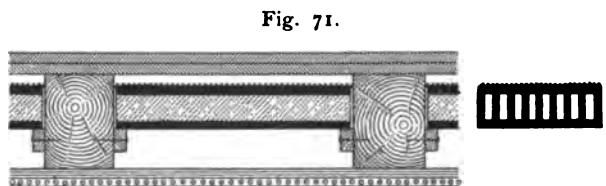


Fig. 71.

47) Siehe über dieselben Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 171, S. 196) dieses »Handbuches«.

48) Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 7.

49) Siehe über dieselben Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 167, S. 194) dieses »Handbuches«.

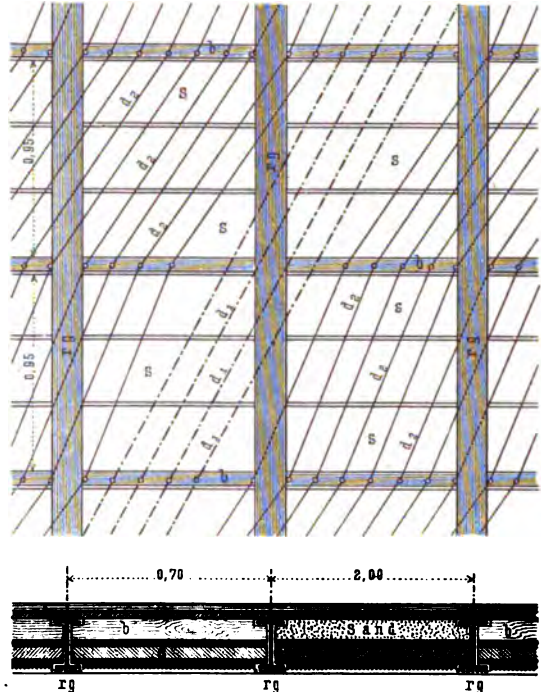
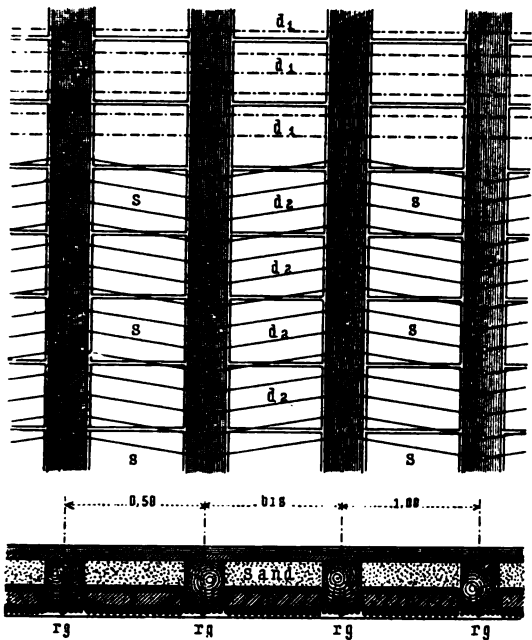
50) Siehe über dieselben ebendaf., Art. 172, S. 196.

Balken werden auch hier mit Gyps verfrichen, so dafs jedes Durchriefeln der Füllung ausgeschlossen ist. Auch diese Decken-Construction ist leicht, dicht und warm, jedoch nur wenig feuerbeständig.

Bei Belastungsverfuchen mit gleichförmig vertheilter Last zeigten sich bei 80 cm Balkenentfernung auf den Anordnungen in Fig. 72 u. 73 die ersten feinen Risse im

Fig. 73.

Fig. 72.

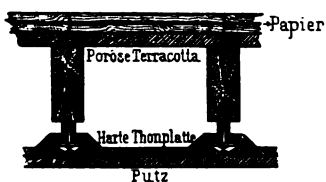


unteren Deckenputze bei 670 kg für 1qm; erst bei 1000 kg für 1qm erreichten sie beträchtliche Gröfse ⁵¹⁾.

In Amerika ist ein ganz eigenartiger feuerficherer Baustoff in ausgedehntem Gebrauche, welcher, auf die Balken genagelt, diese von oben vor dem Feuer völlig schützt und bei sehr geringem Gewichte als Ersatz der Fachausfüllungen sehr leichte Deckenanordnungen liefert. Es ist dies ein mit Sägemehl gemengter gebrannter, daher in fertigem Zustande stark poriger Thon, welcher, wenn aus sandigem Thone angefertigt, *Porous terracotta*, aus sandfreiem Thone hergestellt, *Terracotta lumber* ⁵²⁾ genannt wird. Diese porigen Thonplatten besitzen grofse Dichtigkeit gegen Wärme und Schall, sind erheblich sicherer gegen Feuer, als dichter Backstein, haben ziemlich hohe Tragfähigkeit und schließlich die schätzbare Eigenschaft, sich wie Holzplatten nageln zu lassen. Diese Platten werden auf eng getheilten schmalen Bohlenbalken verlegt (Fig. 74) und genagelt, in den stumpfen Fugen mit Cement gedichtet und vom Fußboden unmittelbar überdeckt, welcher durch

38.
Amerikanische
Ausfüllungen.

Fig. 74.



⁵¹⁾ Die Druckfestigkeit der Spreitafeln beträgt 18,3 kg für 1qm des vollen Querschnittes.

⁵²⁾ Siehe: *American engineer* 1887, S. 230.

die Thonplatten genagelt wird. Die Eigenschaften dieser billig herzuftellenden Platten sind in jeder Beziehung höchst schätzbare, und der Versuch, dieselben auch bei uns einzuführen, würde voraussichtlich erfolgreich sein.

Betonausfüllungen, welche bei Verwendung eiserner Balken jetzt sehr gebräuchlich sind, wurden zur Herstellung feuersicherer Decken aus hölzernen Bohlenbalken von *Furness*⁵³⁾ in Philadelphia in erheblicher Ausdehnung eingeführt, z. B. im Universitätsgebäude des Staates Pennsylvania (Fig. 75).

Gleichzeitig zur Verstärkung der 5,2 m weit frei tragenden Balken und um ein Auflager für den Beton zu schaffen, wurden beiderseits ungleichschenkelige Winkleisen mit 8 mm dicken Bolzen in 61 cm Theilung an die Balken gebolzt. Die Winkleisen sind in der Mitte um 7,6 cm nach oben durchgehoben und werden durch 10 mm dicke, auf die Bolzen gesteckte Ringe so weit von den Balken fern gehalten, daß noch eine Cementschicht behufs vollständiger Einhüllung der Bohlenbalken zwischen beide eingebracht werden kann. Unten sind Dreiecksleisten unter die Balken genagelt, an denen eine Einschalung bloß zum Einstampfen des Betons, wenn man diesen unmittelbar abputzen will, sonst als Deckenschalung befestigt wird. So wird eine fast vollkommene Einhüllung der Balken auch von unten her möglich. Da nun nach den neuesten Erfahrungen⁵⁴⁾ eine Feuersgefahr für die Decken überhaupt beinahe ausschließlich von unten her vorliegt und ein hölzerner Fußboden von oben her selbst bei starker Feuersbrunst nur wenig angegriffen wird, so ist durch diese Anordnung in der That ein hohes Maß von Feuersicherheit erreicht.

Die von *Furness* im Universitätsgebäude zu Philadelphia ausgeführten Abmessungen sind in Fig. 75 angegeben. Der Cement wurde aus 1 Theil Portland-Cement, 3 Theilen Sand und 3 Theilen Steinschlag gemischt. Die Decke, in der die Betonstärke sehr reichlich bemessen erscheint, kostete in der angegebenen Ausbildung 16,4 Mark für 1 qm Grundfläche bei den hohen amerikanischen Preisen. Bei Belastungsversuchen wurde mit einer Last von 735 kg auf 1 qm noch keine bleibende Wirkung an einem der Theile dieser Decke erzielt.

Die Anordnung empfiehlt sich, wie die in Fig. 74 dargestellte, an solchen Stellen zur Nachahmung, wo man trotz hölzerner Balken Feuersicherheit verlangt, und zwar ist die Decke nach *Furness* (Fig. 75) leichter herzustellen, weil sie keinen außergewöhnlichen Baustoff verlangt, wie in Fig. 74.

39. Daubenfüllung. In leichten Holz-Architekturen findet sich in einzelnen Gegenden (Schwarzwald) eine gefederte Daubenfüllung (Fig. 76), welche sich gewölbeartig zwischen die Balken spannt und durch etwas keilförmig geschnittene Scheitelschlusfedern fest eingeklemmt wird. Die Anordnung giebt keine gute Dichtung, ist sehr feuergefährlich und daher selten.

Fig. 76.



6) Wandanschluss der Fachausfüllung.

40. Wandanschluss.

Bei allen Ausfüllungen der Balkenfache ist ein dichter Anschluss an die Wände sehr wichtig und bedarf besonderer Aufmerksamkeit. Ist dieser Wandanschluss nicht gut, so riefelt die Füllung durch die an den Wänden besonders leicht entstehenden Risse des Deckenputzes, so daß in den darunter liegenden Räumen ein fortwährender Sandregen an den Wänden entsteht. Auch für Schall und Wärme ergeben diese Wandfugen günstige Durchgangsöffnungen.

An denjenigen Wänden, in welche die Balkenköpfe eingelagert sind, ergibt sich die Abdichtung von selbst, wenn man nur dafür sorgt, daß die letzten Stücke

⁵³⁾ Siehe: *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 368.

⁵⁴⁾ Vergl.: *Centralbl. d. Bauverw.* 1888, S. 3.

der Fachausfüllung fest gegen die Wand gekeilt, bezw. gestampft werden und daß z. B. die Fugen zwischen Thonplatten und der Wand guten Verstrich erhalten; hier ist die Abdichtung gegen die Wand nicht schwieriger, als in der Fachausfüllung selbst.

Besondere Vorsicht verlangen aber die Anschlüsse an diejenigen Wände, an denen Streichbalken (9 u. 16 in Fig. 37, S. 30) oder Streichwechsel (13 in Fig. 37) hinstreichen. Legt man diese stumpf gegen die Wand, so bleibt stets wegen der Unebenheit beider Theile eine offene Fuge, welche gewöhnlich zu eng ist, um sicher geschlossen werden zu können, und welche sich später in Folge Eintrocknens des Balkens noch erweitert. Man lege daher hier nach Fig. 7 (S. 6) den an der Außenseite schräg abgefehlten Streichbalken etwa 4 cm von der Wand ab, schlage den Zwischenraum mit roh keilförmig behauenen Backsteinen oder Holzleisten aus, welche auch nach dem Eintrocknen des Balkens in Folge des anfänglichen Einkeilens fest bleiben werden, verstreiche deren Fugen und bringe schließlich nach Bedarf noch Füllung auf. In solcher Weise kann ein auf die Dauer völlig sicherer Wandanschluß auch an diesen Seiten erzielt werden.

c) Decke im engeren Sinne.

Die Decke bildet den oberen Abschluß des unterliegenden Raumes; sie kann aus den übrigen vorher besprochenen Theilen, d. h. der Fachfüllung und den Balken, bestehen oder besonders ausgebildet sein, ist überhaupt mehr ausschmückender als nothwendiger Bautheil.

41.
Uebersicht.

Eine besondere Ausbildung der Decke fehlt jedoch nur in den untergeordnetsten Räumen, z. B. in Lagerräumen, wo auf den Balken nur ein Fußboden ruht (Fig. 15, S. 11 u. Fig. 25, S. 20), oder in landwirthschaftlichen Bauten, wo z. B. der unten glatt abgestrichene gestreckte Windelboden (Fig. 51, S. 40) auch die Decke bilden kann.

In den weitaus häufigsten Fällen erhält die Decke eine besondere Ausbildung, und zwar im Wesentlichen nach den im Nachfolgenden beschriebenen Anordnungen. Weitere Einzelheiten über Deckenausbildung, insbesondere über die mehr decorative Behandlung der Deckenflächen, bringt Theil III, Band 3, Heft 3 dieses »Handbuches«.

1) Am häufigsten kommt wohl die verschalte und geputzte Decke (Fig. 40, 48, 51 bis 53, 60, 68 u. 71) zur Anwendung. Bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 178, S. 200 u. Art. 203, S. 244) dieses »Handbuches« wurde über die Bekleidung von Holzwerk mit Putz Mehrfaches mitgetheilt. Unter Hinweis auf die eben angezogenen zwei Stellen ist hier das Folgende zu sagen. Unter die Balken wird eine 2 cm starke, stumpf gestoßene Schalung aus ungehobelten, häufig sogar alten Brettern genagelt. Damit das Werfen und Reißen der Bretter dem Putz nicht schädlich werde, dürfen die Schalbretter nur schmal sein oder müssen vielfach gespalten werden. Auf diese Schalung streckt man winkelrecht zur Faserrichtung der Schalbretter rund 8 mm starke Putzrohrstengel (Fig. 40, 48, 51, 52, 60, 68 u. 71) in etwa 2,5 cm Abstand und befestigt diese durch geglühte Eisendrähte, welche in 10 bis 12 cm Abstand von einander gespannt und je hinter dem dritten Rohrstengel mit breitköpfigen, geschmiedeten Rohrnägeln an die Schalung genagelt werden. Da diese Nagelung an verschiedenen Drähten in verschiedenen Rohrzweischenräumen erfolgt, so hängt schließlich jeder Stengel unbeweglich in den Drahtschlingen. Wegen der fast

42.
Verschalte
und
geputzte
Decken.

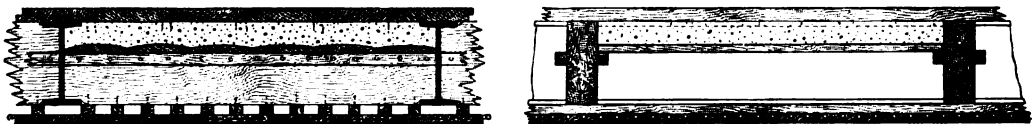
vollkommenen Raumbeständigkeit gut getrockneten Rohres ist dieses Mittel zur Befestigung des Putzes auf Holz besonders geschätzt.

In Gegenden, wo Rohr nicht zu haben ist, treten an seine Stelle häufig sog. Wurf- oder Pflasterlatten (Fig. 53), d. h. trapezförmige, etwa 12 bis 15 mm dicke und in der Mitte 20 bis 25 mm breite Tannenlatten, welche gleichfalls quer zur Faserrichtung der Schalbretter unter diese genagelt werden; statt so gestalteter Latten verwendet man auch solche mit Längseinschnitten und -Nuthen⁵⁵⁾. Derartige Latten sind minder gut als Rohr, weil sie beim Putzen feucht werden, sich später zusammenziehen und so die Haftfestigkeit des Putzes beeinträchtigen.

Besser, aber theurer und daher noch seltener sind Putzknöpfe, 12 bis 15 mm dicke abgestumpfte Kegel von etwa 3 cm mittlerem Durchmesser, mitten durchbohrt, aus gebranntem Thon, welche im Quincunxmuster mit je einem Nagel, die kleinere Grundfläche nach oben, unter die Schalung genagelt werden.

Alle drei Mittel dienen dazu, den nun einzubringenden glatten, gefilzten und geschlemmten Deckenputz aus Weiskalk, Gyps oder einem Gemenge beider zu mechanischem Anhaften an der Holzfläche der Schalung zu zwingen. Da die lösen, unter der Schalung liegenden, raumbeständigen Putzstengel die Bewegungen der Schalbretter nicht mitmachen, was bei den Putzknöpfen und bezüglich der Nagelung auch bei den Pflasterlatten der Fall ist, so ergeben sie die beste Befestigung des Putzes.

Fig. 77.



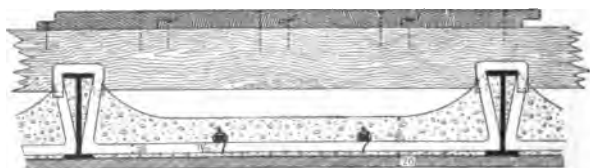
Ein Beispiel der Herstellung einer geputzten Decke auf Lattung statt auf voller Schalung zeigt Fig. 77, wobei wesentliche Abweichungen von dem vorstehend Gefagten nicht vorkommen.

Es werden auch von einer Reihe von Fabriken patentirte Gewebe aus Draht und Rohrstengeln oder Holzleisten geliefert⁵⁶⁾, welche unter der Schalung, die dann auch durch eine weite Lattung ersetzt werden kann, ausgerollt und genagelt werden und eine besonders schnelle und bequeme Vorbereitung derselben für die Putzherstellung ermöglichen; sie liefern dasselbe Ergebniss, wie die mühsamere Berohrung⁵⁷⁾.

Von der Decke nach unten vorspringende Unterzüge werden entweder gleichfalls mit Rohrabschnitten winkelmäßig zur Faserrichtung gerohrt und geputzt oder glatt gehobelt, profilirt und bemalt.

Soll eine Deckenfläche geputzt werden, welche an sich geeignet erscheint, den Putz unmittelbar aufzunehmen, wie z. B. eine Decke aus Gypsdien oder Spreutafeln (Fig. 72 u. 73), Beton, Gyps

Fig. 78.

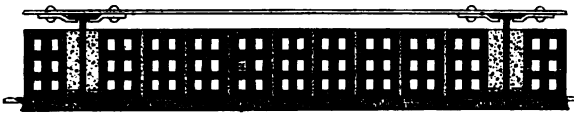


⁵⁵⁾ Vergl. Fig. 405 (S. 245) in Theil III, Band 2, Heft 1 dieses „Handbuches“.

⁵⁶⁾ Z. B. von *Stauß & Ruff* in Cottbus, *Ernst Loth & Co.* in Halberstadt (D. R.-P. Nr. 10891 u. 22033) etc.

⁵⁷⁾ Siehe über solche Gewebe und Geflechte auch Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 203, S. 245 u. 246) dieses „Handbuches“.

Fig. 79.



mufs man den unter den Balkenflächen anzubringenden Putz zunächst — etwa mittels eines Streifens Dachpappe — vom Balken absondern, damit dessen Bewegungen unter

Fig. 80.

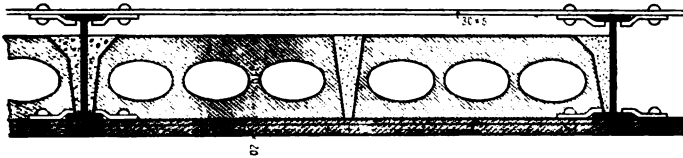
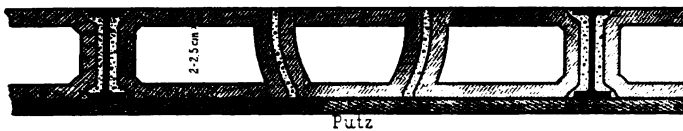


Fig. 81.



oder einem schmalen Streifen der oben erwähnten Putzgewebe besteht, bei eisernen Balken in der Regel aus einem an den benachbarten Deckentheilen zu befestigenden Streifen Drahtgewebe. Trotz dieser Vorkehrungen machen sich aber die Balken-

oder Backstein (Fig. 78 bis 82) oder einer Mörtelfläche (Fig. 83), liegen in der Deckenfläche aber die Unterflächen von hölzernen oder auch eisernen Balken zu Tage, so

der Wirkung von Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes, bzw. der Wärme den Putz nicht zerstören. Ausserdem mufs ein Haftmittel unter den Balken, wie unter der Deckenschalung angebracht werden, das bei Holzbalken aus quer gelegten kurzen Abschnitten von Putzrohr oder Pflieflattent, aus Thonknöpfen

Fig. 82.

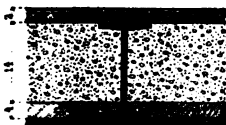


Fig. 83.



unterflächen in ebenen Putzflächen in der Regel durch Risse im Putz kenntlich. Man thut daher gut, das unmittelbare Anbringen von Putz unter den Balken zu vermeiden, wozu verschiedene Mittel weiter unten angegeben werden. Ist ein derartiges Anbringen nicht zu umgehen, so richte man die Deckenbemalung so ein, dafs unter ihr die bei guter Ausführung jedenfalls nur feinen Risse verschwinden.

Das Putzen gestattet Ausschmückung durch Malerei und Stuck und gewährt auch einen geringen Schutz der Balken gegen den ersten Feuerangriff; einer irgend wie erheblichen Feuersbrunst widersteht eine solche Decke jedoch nicht.

2) Eine Abart dieser Decke bildet die Decke mit vertieften geputzten Balkenfeldern (Fig. 60, S. 43), bei welcher die Deckenschalung als Einschub in Nuthen ausgebildet, der Grund der entstehenden vertieften Felder geputzt, die Balkenunterseite aber gehobelt und profilirt wird. An den Wänden und etwaigen Unterzügen kehrt die Balkenprofilierung mittels eingesetzter Balkenwechsel wieder — ein Mittel, das auch zur Theilung allzu langer Balkenfache in kürzere Felder angewendet werden kann.

3) Putz auf gebrannten Thontafeln (Fig. 74 u. 84) wird in Amerika zur Erzielung von Feuerficherheit verwendet. Die Balkenlagen bestehen aus eng ge-

43.
Decken
mit
vertieften
Putzfeldern.

44.
Putz auf
Thontafeln.

legten Bohlenbalken, unter welche mittels eiserner Unterlagsplättchen unten rauhe Tafeln aus gebranntem Thon mit (Fig. 74) oder ohne (Fig. 84) Zwischenraum genagelt werden. Die Unterlagsplättchen verschwinden in Vertiefungen, welche in den Mitten der unter den Balken

liegenden Seiten der Thon-

platten ange-

bracht sind.

Auf diesem

Thonbelag

wird der Dek-

kenputz mit oder ohne Profilierungen, wie auf Mauerwerk hergestellt ⁵⁸⁾.

Von den beiden Anordnungen in Fig. 74 (S. 47) u. 84 stellt die letztere das *System White*, die erstere das *Pioneer-system* dar. Letzteres (Fig. 74) ist das gegen Feuergefahr wirksamere, weil die Deckenplatte nicht unmittelbar unter dem Balken liegt, also die Hitze besser fern hält. Dieser Abstand wird durch Einsetzen der Befestigungsnägel oder Schrauben in kleine Eisenröhrchen gesichert. Bei der Anordnung in Fig. 74 sind außerdem die eisernen Befestigungstheile nicht bloß durch den Putz, sondern noch durch einen Luftraum über dem Putze vor der Hitze geschützt.

Ein Bedenken gegen beide Anordnungen liegt in der Befestigung einer ziemlich schweren Tafel mit nur wenigen Nägeln oder Schrauben von unten unter den Balken.

Wird die Befestigung hinreichend dauerhaft ausgeführt, so entsteht in Fig. 74 eine fast vollkommen feuer sichere Decke, da die Balken unten durch die Thonplatten mit Putz, oben durch die durchlöchernte Terracotta für das Feuer unzugänglich gemacht sind. (Vergl. Art. 38, S. 47.)

4) In Deutschland werden feuer sichere Putzdecken ohne Holzschalung in neuester Zeit nach den Patenten *Rabitz* ⁵⁹⁾ und *Monier* ⁶⁰⁾ und in der Anordnung von *Mack* ⁶¹⁾ ausgeführt.

Rabitz spannt in einiger Entfernung unter den Balken Drahtgewebe aus, welche mit Haken in der Wand und unter den Balken, so wie in jedem Balkenfache noch durch einen 10 mm starken, in 50 cm Abstand nach den beiden Nachbarbalken aufgehängten Draht gehalten sind (Fig. 85 linkes Fach). Die etwa 1 m breiten Bahnen des Drahtgewebes werden quer unter den Balken straff angezogen und zusammengeknüpft. Nach einer neueren Anordnung spannt *Rabitz*

Fig. 84.

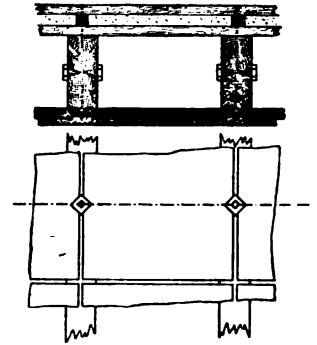
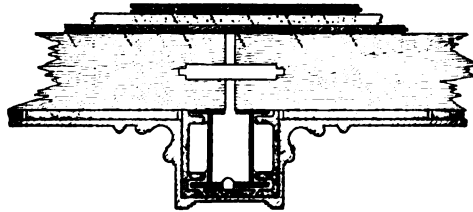
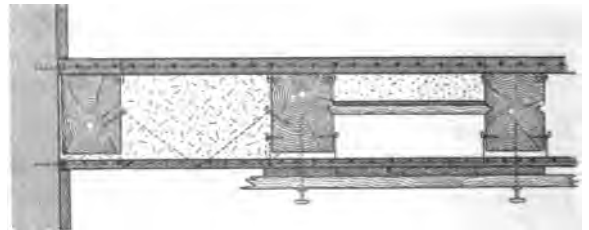


Fig. 85.



⁵⁸⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1884, S. 225. — Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 436, 450. — American engineer 1887, S. 230.

⁵⁹⁾ Siehe hierüber Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 271, S. 334) dieses »Handbuchs«.

⁶⁰⁾ Siehe ebendaf., Art. 264 u. 265, S. 329—331.

⁶¹⁾ Siehe: Wochbl. f. Baukde. 1887, S. 280. — Deutsches Bauwksbl. 1889, S. 25.

einzelne starke Drähte quer unter die Balken, wie in Fig. 72 u. 73 (S. 47, System *Kats*), hängt sie mit Drahtschlingen und Haken an den Balken auf und legt dann schwächere Drähte in enger Theilung darüber hin, welche in allen Ueberkreuzungen mit Draht gebunden werden (Fig. 85 rechtes Fach).

Auf einzelne unter die Balken geschraubte Lagerbretter wird nun eine Bretterlage von etwa 15 mm Dicke unter das Drahtnetz gelegt (Fig. 85 rechts) und der Patentputz, vorwiegend aus Cement bestehend, 2,5 bis 3,0 cm stark, eingestampft. Nach kurzer Zeit ist die Masse tragfähig genug, um das Abnehmen der Rüstung zu gestatten, worauf die Unterseite glatt gerieben wird. Die Tragfähigkeit dieses Putzes wird so groß, daß eine leichte, die Balkenfache füllende Bettung ohne Weiteres darauf gebracht werden kann. *Rabitz* schlägt zu diesem Zwecke Torfgrus vor (siehe Art. 27, S. 39 u. Fig. 85 links); es ist jedoch jede andere Fachausfüllung auch verwendbar (Fig. 85 rechts, Einschubdecke). Der Luftraum zwischen Putz und Balken schützt im Vereine mit der erheblichen Widerstandsfähigkeit des Mörtels gegen Feuer die verdeckten Holztheile vollständig, wie wiederholt bei Feuersbrünsten und durch Versuche nachgewiesen ist⁶²⁾.

Zwischen den umschlossenen Drähten und dem Putzmörtel bildet sich eine sehr innige, wie von manchen Seiten behauptet wird, nicht bloß mechanische, sondern auch chemische Verbindung, und da das Wärmeausdehnungs-Verhältniß des Drahtes von dem des Cementes nur unerheblich abweicht, so wirken beide Stoffe gut zusammen, und es entsteht eine Widerstandsfähigkeit, welche weit höher ist, als die der gleich dicken Cementplatte.

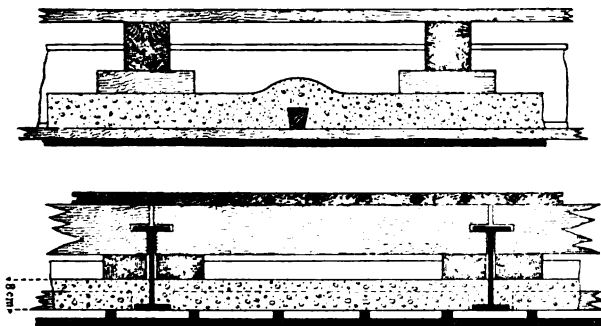
Was die Lage des Drahtes in der Mörtelplatte anlangt, so ergibt sich aus dem Umstande, daß der Draht vorwiegend Zugbeanspruchung, der Cement Druckbeanspruchung zu widerstehen vermag, daß man den Draht so nahe an die gezogene Außenfläche der auf Biegung beanspruchten Platte legen soll, wie dies mit Rücksicht auf den Schutz des Drahtes vor Feuer zulässig erscheint, d. h. etwa zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{3}$ der Dicke der Platte von der gezogenen Seite aus gemessen. Der Deckenputz hat jedoch, wenn überhaupt, so geringe Lasten zu tragen, daß man hier den Draht oder das an sich weniger tragfähige Drahtgewebe unbedenklich in die Mitte der Plattendicke legen kann.

5) Der Putz nach *Monier* unterscheidet sich von dem nach *Rabitz* wesentlich nur dadurch, daß die Platten mit rechtwinkelig überkreuzter und gebundener Draht-

46.
Monier-
Decken.

einlage nicht im Gebäude, sondern gefondert hergestellt und fertig eingebracht werden. Es ist somit der Putz nach *Monier* nicht fugenlos, und die Befestigung unter den Balken wird eine andere, wie bei *Rabitz*, etwa die in Fig. 74 u. 84 dargestellte sein müssen. Wie bei diesen Anordnungen dienen dünne *Monier*-Platten auch häufig nur als Träger des eigent-

Fig. 86.



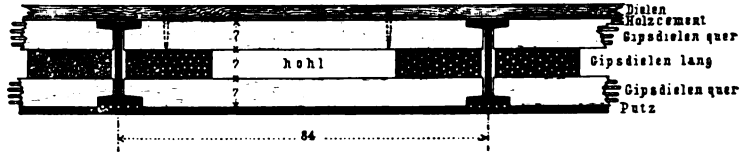
⁶²⁾ Z. B. beim Brand in der Marine-Ausstellung zu Köln im Sommer 1890.

lichen Putzes, welcher auf ihrer Unterseite angebracht wird; solche Verwendung der *Monier*-Platten⁶³⁾ zeigt Fig. 83; das Anbringen von *Rabitz*-, bzw. *Monier*-Putz unter einer Gypsfüllung auf Latten ist in Fig. 86 dargestellt. Der Preis dieser Putzarten beträgt für 1 qm je nach Stärke und örtlichen Verhältnissen 1,0 bis 1,5 cm dick 2,5 bis 3,0 Mark, 5 cm dick bis 6 Mark fertig verlegt.

47. Decken mit Gypsdielen. 6) Nach *Mack* (siehe Theil III, Bd. 2, Heft 3, Art. 171 [S. 196] u. Art. 201 [S. 243], so wie Art. 37 [S. 46] im vorliegenden Hefte dieses »Handbuches«) werden die Gypsdielen unter die Balken geschraubt, wobei auch die in Fig. 74 u. 84 angegebenen Verfahren zur Erzielung eines Luftraumes zwischen Putz und Balken verwendbar sind.

Die etwa 3 cm dicken Platten können bei gutem Verfrische der Fugen und Schrauben selbst die Deckenfläche bilden oder sie können noch mit einer dünnen Putzschicht überzogen werden. Eine solche Decke ist in Fig. 87 veranschaulicht.

Fig. 87.

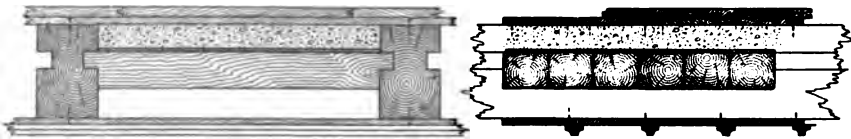


48. Decken mit Spreutafeln. 7) Auch die Spreutafeln von *Katz* (vergl. Theil III, Bd. 2, Heft 1 dieses »Handbuches«, Art. 172 [S. 196], so wie Art. 37 [S. 46] im vorliegenden Hefte) gestatten, nach Fig. 72 auf Drahtnetz mit der rauhen Seite nach unten verlegt, das unmittelbare Anbringen von Deckenputz, dessen Anhaften durch das Drahtnetz noch verbessert wird.

Sowohl bei Gypsdielen wie bei Spreutafeln sind die etwa sichtbar bleibenden Balkenunterflächen vor Aufbringen des Putzes in der in Art. 41 (S. 49) besprochenen Weise vorzubereiten (Fig. 72 u. 87).

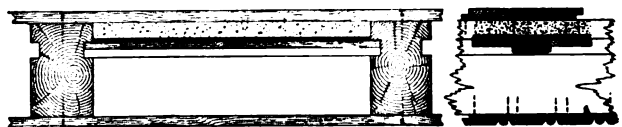
Durch den Putz wird ein Schutz der Gypsdielen und Spreutafeln vor Feuer von unten wohl geschaffen; immerhin wird bei starkem Feuer ein Zerfallen auch über dem durchhitzten Putze noch eintreten, und es können daher die beiden letzten Deckenbildungen nicht den gleichen Sicherheitsgrad gewähren, wie eine *Rabitz*- oder *Monier*-Decke. Auch die Tragfähigkeit beider ist erheblich geringer, als die des

Fig. 88.



sehr widerstandsfähigen Gefüges aus Draht und Mörtel. Nur die *Katz*'sche Anordnung nach Fig. 72 (S. 47) giebt ein dem *Rabitz*'schen ähnliches Gefüge der Decke, mit der Verschlechterung jedoch, daß die Drähte ganz in die Oberkante des Putzes fallen und nur mangelhaft umhüllt werden.

Fig. 89.

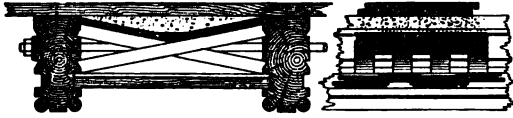


8) Die getäfelte Decke entsteht, wenn man eine ge-

49. Getäfelte Decken.

⁶³⁾ Ueber *Monier*-Platten siehe auch: Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 266, S. 331) dieses »Handbuches«.

Fig. 90.



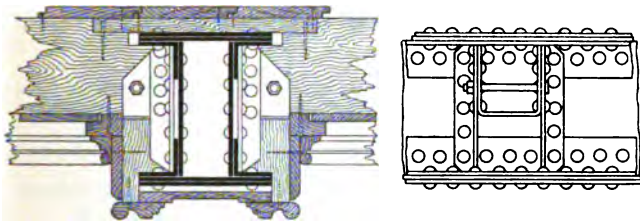
die Fugen genagelt (Fig. 89). Man kann die Schalung auch als Stülpdecke aus zwei Lagen von Brettern herstellen, welche profilirt und gespundet sind, wie in Fig. 90, oder über einander greifen (Fig. 91).

Fig. 91.



Die Täfelung kann in weniger einförmiger Weise auch durch geometrische Figuren aus untergenagelten Profileleisten geschmückt werden, wobei jedoch die Bretterfugen die Felder der Figuren in unangenehmer Weise durchschneiden. Es ist daher besser, die seitlich genutheten Leisten unmittelbar unter die Balken, bezw. so

Fig. 92.

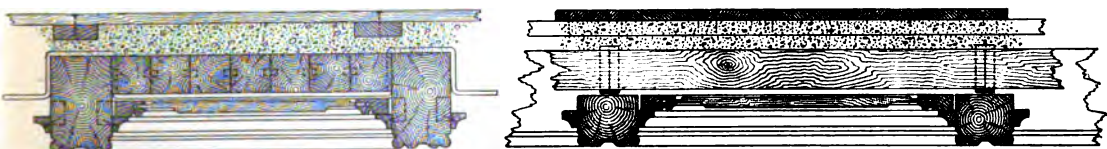


weit nöthig unter den Balkenwechsel zu nageln und dann geleimte Brettertafeln so in die Nuthen einzulegen (Fig. 92), daß sie sich frei zusammenziehen und ausdehnen können; man erzielt in solcher Weise gut zu bemalende Feldflächen ohne Fugen.

9) Die Cassetten-Decke (Fig. 93) theilt zunächst durch zwischen die Balken gesetzte Wechsel die Deckenfläche in regelmäßige, meist rechteckige Felder ein, um welche die Profilierung der Balken und Wechsel als Rahmen herum läuft. An die Seitenflächen der Balken und Wechsel werden ringsum laufende Profileleisten geschraubt, auf welche dann die Bodenfüllungen der entstandenen Cassetten meist in gestemmter Arbeit, sonst als

50.
Cassetten-
Decken.

Fig. 93.



glatte geleimte Tafeln lose aufgelagert werden. Die Füllungen können schließlich durch Malerei, durch geschnitzte oder durch aus Gyps-, bezw. Zinkguß hergestellte Ornamente ausgeschmückt werden. Reißen der Bretter ist durch die bewegliche Lagerung verhütet.

Auch mittels Stuck kann man die Ausschmückung der von den Balken und Wechseln gebildeten Cassetten erreichen, wobei aber Balken und Wechsel wie die Füllungen berohrt werden müssen, wenn man vollständig geputzte Flächen haben

will. Eine Caffetten-Decke, bei der die Rahmen von den Balken und Wechselprofilen nebst angeschraubten Profileisten und der Boden durch glatten Putz gebildet werden, zeigt Fig. 94. Diese Deckenausbildung ist von allen die reichste.

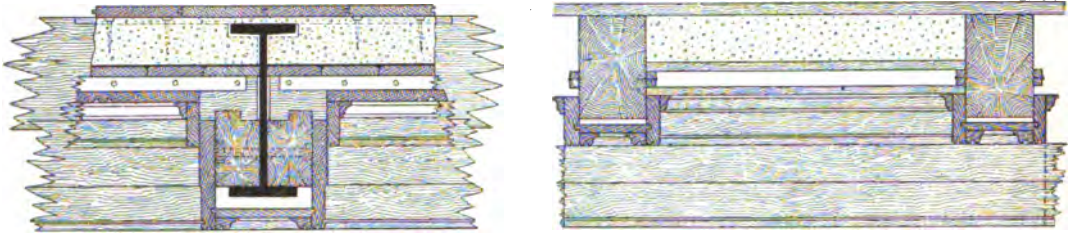
Fig. 94.



51.
Einschub-
decken.

10) Die Einschubdecke legt die Täfelung zwischen die Balken auf Leisten (Fig. 95) oder in Nuthen (Fig. 90), so daß die zu hobelnden und zu profilirenden Balken vor der Täfelung vortreten und lange Balkenfelder bilden, deren Böden

Fig. 95.



von gehobelten Brettern mit profilirten Fugen oder Fugenleisten gebildet werden. Auch hier kann man statt der einfachen Einschubdecke eine Stülpedecke aus doppelter Bretterlage mit gespundeten und profilirten Fugen (Fig. 90) oder einfacher Ueberdeckung verwenden.

52.
Decken
aus
glafirten
Thonfliesen.

11) Fayence-Decken⁶⁴⁾, Decken aus glafirten Thonfliesen, kommen in Frankreich und Belgien vor; Beispiele sind in Fig. 65 u. 67 (S. 45) dargestellt. Die Fliesen können außer der Glafir auch Blätter oder sonstigen Formenschmuck tragen. In der durch Fig. 67 dargestellten Ausbildung nach Art einer Einschubdecke müssen die Balkenfache mit einer Plattenbreite gedeckt werden, werden also schmal; in Fig. 65 ist eine größere Weite durch eine Art von Plattenwölbung erreicht, welche durch Anbringen entsprechender Kämpfervorsprünge oder -Leisten an Holzbalken auch bei diesen verwendbar sind.

Um auch unter hölzernen Balken ebene Fayence-Decken anbringen zu können, so daß die Balken nicht, wie in Fig. 67, vortreten, befestigt *E. Müller* in Jory unter den Balken zunächst einen Rost aus Guß- oder Schmiedeeisen, in dessen Maschen die bunten verzierten Platten eingelegt werden. Die zwischen den Platten vortretenden Stege des Rostes werden den Platten entsprechend verziert und etwa mit Bronzefarbe behandelt.

Derartige Decken besitzen, mit Luftraum unter die Balken gelegt, einen ziemlich hohen Grad von Feuerficherheit, eignen sich aber für Wohnräume nur bei ganz bestimmten Ausstattungsarten. Sehr geeignet erscheinen sie für solche Räume, in denen auch die Wände ganz oder zum Theile mit glafirten Fliesen (*tiles*) belegt sind, wie dies z. B. in manchen Erfrischungsräumen englischer Restaurants und Vergnügungsanlagen gebräuchlich ist.

⁶⁴⁾ Siehe: Polyt. Journ., Bd. 262, S. 284. — Sprechfaal 1886, S. 721. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

Literatur

über »Balkendecken in Holz«.

- RINECKER, F. Zimmermanns-Arbeiten in Nord-Amerika. Zeitschr. d. bayer. Arch.- u. Ing.-Ver. 1869, S. 76.
 Etagegebälke aus dem Mittelalter. HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1877, S. 9.
Planchers en bois. La semaine des constr. 1877—78, S. 314.
 CHERY, J. *Constructions en bois et en fer. 3^e partie, 1^{re} section: Dispositions économiques des traverses en bois pour planchers.* Paris 1879.
 VOGDT. Hölzerne Balkenlagen über größeren Räumen. Deutsche Bauz. 1879, S. 149.
 KORTÜM. Ueber Holzbalkendecken in Wohngebäuden. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 370.

3. Kapitel.

Balkendecken in Holz und Eisen.

Es sind hier solche Decken zu besprechen, in deren tragenden Theilen Holz und Eisen sich in der Lastaufnahme vereinigen. Sie sind gegenüber den übrigen Deckenarten selten, da Dauer und Festigkeit der beiden Baustoffe zu sehr verschieden sind, um durch ihre Vereinigung zu wirklich zweckmäßigen Anordnungen zu führen.

Die scharfe Trennung der drei, bzw. vier Bestandtheile der Decke ist hier nicht in gleicher Weise, wie im vorhergehenden Kapitel durchzuführen; es sollen daher Beispiele von Gesamtanordnungen in allen ihren Theilen gleichzeitig vorgeführt werden.

Die bei weitem meisten hierher gehörenden Constructionen verwenden das Holz zur unmittelbaren Unterstützung des Fußbodens, während die eigentlichen Deckenträger aus Eisen gebildet werden.

Die am häufigsten, insbesondere in Deutschland, vorkommende Anordnung ist die in Art. 4 (S. 7) bereits berührte, bei welcher die hölzernen Balken, welche für die vorhandene lichte Weite zu geringe Querschnittsabmessungen haben, auf eiserne Unterzüge — meist I-Träger — gelagert werden. Die Balkenlage, die Ausfüllung der Balkenfache, die Lagerung des Fußbodens und die Deckenunterfläche werden in einer der im vorhergehenden Kapitel vorgeführten Weisen ausgebildet; der eiserne Unterzug springt in ganzer Höhe vor der Deckenunterfläche vor.

Wenn man an den Unterflächen der Holzbalken in gewöhnlicher Weise die Bretterschalung, die Berohrung und den Putz anbringt, und wenn diese Balken unmittelbar auf den I-Trägern aufrufen, so entsteht der Mißstand, daß der obere Flansch der letzteren im Deckenputz völlig verschwindet, was unconstructiv und unschön ausieht. Man lege deshalb zwischen die Unterflächen der Balken und den oberen Flansch des Unterzuges Brettstücke von solcher Dicke ein, daß die Oberkante des letzteren bündig mit der Putzunterkante zu liegen kommt.

Auch die nunmehr vorzuführenden Decken-Constructionen gehören zu jenen Anordnungen, bei denen schwache Holzbalken sich auf eiserne Deckenträger stützen. Beispiele der hierbei in das Auge gefaßten Ausbildungen zeigen Fig. 65, 77, 78, 84, 86, 92, 95, 97 u. 99.

Fig. 92 (S. 55) entspricht dem Falle, daß über einem weiten Raume eine Decke hergestellt werden soll, welche möglichst wenig Höhe wegnimmt. Deshalb sind niedrige, starke Kastenträger fast unmittelbar unter die Fußbodenbretter gelegt, welche in seitlich angienieteten Blechkasten die gewöhnlichen Holzbalken aufnehmen.

53.
Uebersicht.54.
Gewöhnliche
Anordnung55.
Anordnungen
von geringer
Constructionshöhe.

Die Füllung der Balkenfache, welche nach einer der im vorhergehenden Kapitel (unter b) angegebenen Weisen erfolgt, ist nicht dargestellt; dagegen ist angedeutet, wie die Fußbodenbretter über dem Eisen der Träger zu lagern sind und wie der niedrige Vorsprung des Trägers nach unten durch Ausbildung einer getäfelten Decke verdeckt werden kann. Der ganze Träger steckt in einem aus profilirten Leisten gebildeten Kasten, welcher durch auf die Gurtung des Trägers greifende eingepasste Klötze getragen wird. Diese Klötze werden durch die unter die Balken geschraubten Tragleisten der Deckentäfelung am Herausfallen verhindert; eine unmittelbare Verbindung zwischen Holz und Eisen, welche Anbohren des Eisens bedingt hätte, ist nicht vorgenommen.

In Fig. 84 (S. 52) liegen die eisernen Träger ganz unter den über ihnen gestoßenen und verklammerten Bohlenbalken. Auch hier ist ein breiter Kasten unter der Balkenlage nach amerikanischem Muster hergestellt, indem die doppelt angeordneten Träger zunächst mit in Cementmörtel aufgesetzten, dem Trägerquerschnitte angepassten gebrannten Thonplatten verkleidet und darüber mit profilirtem Gypsputze bedeckt wurden⁶⁵⁾. Es ist so ein wirksamer Schutz der Träger gegen Feuer erzielt, welche durch unmittelbaren Angriff des Feuers erfahrungsmäßig schnell, unter Umständen schneller als starke Holzbalken zerstört werden⁶⁶⁾.

Das eigenartige Anbringen von Thonfliesen nach *System White* unter den Holzbalken als Träger des Putzes der Decke wurde schon in Art. 44 (S. 51) besprochen.

In Fig. 86 (S. 53⁶⁷⁾ sind zwischen die enger gelegten Eisenbalken schwache Holzträger unter Einschnitten der Trägerflansche in die Hirnenden eingesetzt. Die Fachausfüllung ist durch eine 8 cm starke Lage eines Gemenges von Gyps und Steinbrocken gebildet, gegen welche die kleinen Traghölzer durch keilförmige Holzeinlagen abgefangen sind.

Letztere dienen zugleich dazu, die Hölzer in die genau richtige Höhenlage zu bringen. Die Hölzer tragen einen gefederten Fußboden, dessen Bretter parallel zu den eigentlichen (Eisen-)Balken gelegt sind. Um eine Putzdecke auf Rohr oder nach *Rabitz*, bezw. *Monier* anbringen zu können, ist jedesmal mitten zwischen zwei Holzträgern ein Abschnitt einer hölzernen Schwalbenschwanzleiste zwischen den unteren Flanschen der I-Balken in den Gyps eingestampft, unter welchen dann die den Deckenputz tragenden Latten für Rohrputz in enger, für *Rabitz*-, bezw. *Monier*-Putz in weiterer Theilung genagelt werden können. Die Kosten dieser Decke betragen 10,2 Mark für 1 qm.

*Stolz*⁶⁸⁾ macht für derartige Decken die in Fig. 96 u. 97 dargestellten Vorschläge⁶⁹⁾, welche von dem Gesichtspunkte ausgehen, derartige Decken nach den von ihm gefammelten Erfahrungen thunlichst feuersicher zu gestalten. Nach *Stolz* droht den Decken von oben her wenig Gefahr, da, wie schon früher erwähnt wurde, selbst bei starken Feuersbrünsten hölzerne Fußböden wegen Mangels an Luft höchstens ankohlen, wenn nur kein anfachender Zug durch die Decke selbst kommen kann. Höchste gefährdet sind dagegen die Deckenunterflächen, und in diesen besonders die Rücksprünge, welche neben vorspringenden Theilen (Unterzügen u. dergl.) entstehen. Solche Vorsprünge sind daher zu vermeiden; Unterzüge müssen also in der Deckendicke thunlichst versteckt werden, wenn diese auch dadurch wachsen sollte.

Stolz führt in dieser Beziehung an, daß ein 75 cm unter der Decke liegendes Ofenrohr die Einschubbretter in den Balkenfachen entzündete, obwohl an der unter den Balken liegenden Bretterschalung keine Brandspuren zu finden waren. Aus gleichem Grunde ist es auch von besonderer Wichtigkeit, die Träger von unten her feuersicher einzuhüllen, da sie durch Erhitzen ihre Tragfähigkeit verlieren.

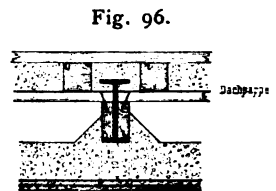


Fig. 96.

56.
Vorschläge
von
Stolz.

⁶⁵⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 436. — *American engineer* 1887, S. 230.

⁶⁶⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 417.

⁶⁷⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 43.

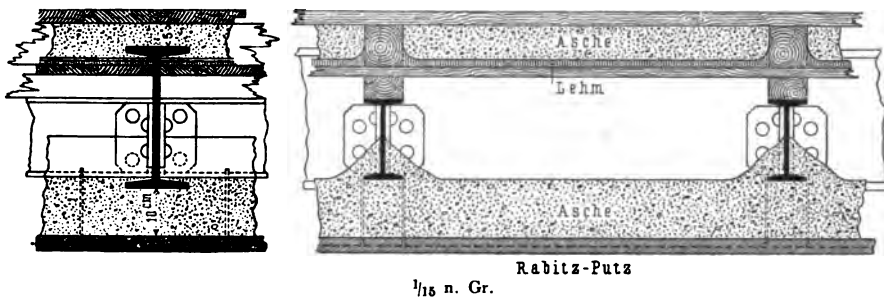
⁶⁸⁾ Der derzeitige Brand-Director von Magdeburg.

⁶⁹⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

Fig. 96 stellt eine gewöhnliche Zimmerdecke dar, bei der die Träger von oben und unten durch Aschenfüllung, und zwar oben weniger als unten, geschützt sind. Zur Stützung der unteren Aschenlage ist eine *Rabitz*-Decke mindestens 10 cm unter den Balken aufgehängt, und an diesen ist die Asche so weit aufgeschüttet, daß der Balken nebst den auf den unteren Flansch gesetzten Tragleisten für den Einschub noch genügend geschützt wird. Der Einschub liegt so tief, daß auch der Balkenkopf noch ganz in Asche gehüllt ist. Die Fußbodenlager stehen so weit von den Balken ab, daß ein die ersteren ergreifender Brand letztere noch nicht erheblich erhitzen kann. Auf den Einschub und unter die Fußbodenlager ist eine Lage von Dachpappe gebracht, um das Durchrieseln der oberen Aschenlage durch den Einschub und das Entstehen von Luftzug von unten durch die Decke zu verhindern.

Fig. 97 zeigt eine gleiche Decke, deren weite Spannung aber die Anordnung eines starken Unterzugträgers nöthig gemacht hat. Die Eisenbalken sind innerhalb

Fig. 97.



der Höhe des Unterzuges an dessen Steg befestigt und von unten eben so, wie in Fig. 96, derart geschützt, daß 10 cm Asche unter der Unterzugkante bleiben. Um nun auch die obere Gurtung des Unterzuges genügend einzuhüllen, sind Polsterhölzer auf die Balken gelegt, so daß der hier mit Lehm Schlag statt mit Dachpappe eingedichtete Einschub der oberen Gurtung des Unterzuges nahe liegt und die Verfüllung der Fußbodenlager diesen deckt. Ein schwacher Punkt bleibt die Ueberkreuzung der Lagerhölzer mit dem Unterzuge; doch ist die hier entstehende Gefahr wegen der geringen Ausdehnung der gefährdeten Stelle nicht erheblich. Auch daß der Brand durch die Holztheile bis zu den oberen Gurtungen der Balken durchdränge, ist nicht zu befürchten.

So sorgfältig diese Decken mit Rücksicht auf Sicherung gegen Feuer und Auswahl billiger Baustoffe durchgebildet sind, so ist nicht zu verkennen, daß sie durch ihre das gewöhnliche Maß (besonders bei Anordnung von Unterzügen) weit überschreitende Dicke und den dadurch entstehenden Mehraufwand an Mauerwerk in den Wänden nicht gerade sparsam genannt werden können.

In Frankreich sind derartige Deckenausbildungen ⁷⁰⁾ sehr beliebt. Zunächst ist eine ganze Reihe derselben nach verschiedenen Erfindern genannt; dieselben zeigen wenig Abweichungen von einander und sind wegen zu kleiner Einzeltheile und schwieriger Zusammenfassung nur in beschränktem Maße zur Ausführung gekommen. Es gehören hierher die Systeme *Angot*, *Bellemare*, *Batelier*, *Jeannette*, welche die Träger aus möglichst leichten Band- und Quadrateisen bilden. Ueber die Träger

57-
Französische
Anordnungen.

⁷⁰⁾ Siehe: *Annales industr.* 1883—II, S. 5 u. ff.

strecken sich schwache Balken zur Aufnahme des Fußbodens, und die Ausfüllung der Balkenfache wird aus Gyps-Beton auf einem Roste von dünnen Quadrateisen gebildet.

Auf die Dauer scheint sich nur eine derartige Construction zu behaupten, die von *Vaux* (Fig. 98), welche weit verbreitet ist. Die Träger bestehen aus mit $\frac{1}{10}$ Pfeil nach oben durchgebogenen, hochkantig gestellten Flacheisen, welche in den Wänden verankert sind.

Gegen einander werden diese Bänder durch geschmiedete Bügel aus Quadrateisen abgesteift, so daß sie nicht kippen können. Die Querbügel tragen zwischen je zwei Balken von 75 cm Abstand zwei kleine quadratische Eisenleisten mit Draht fest gebunden, und an das so gebildete Leistennetz hängt man die Deckenfüllung aus feinem Gyps-Beton, welcher weich eingebracht, auf den umhüllten Leisten erhärtet (siehe auch Fig. 78, S. 50 u. Fig. 65 links, S. 45). Ueber die Flacheisenbalken streichen in der Querrichtung ganz schwache Balken oder Lagerhölzer, und diese nehmen dann die Fußbodenbretter auf. Unter dem unten auf Bretterchalung eben abgeglichenen Gyps-Beton wird der Gypsputz der Decke aufgetragen.

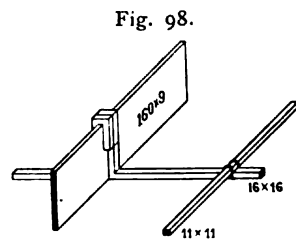


Fig. 98.

Die wesentlichen Mängel dieser Anordnung sind die äußerst geringe seitliche Steifigkeit und die schwierige Auflagerung der Flacheisentträger, so wie die Lagerung der Holzbalken auf die Kante des Flacheisens.

Noch gebräuchlicher sind die Deckenanordnungen von *Thuasne* und namentlich diejenigen von *Rouffel*, letztere vorwiegend in Paris.

Thuasne verwendet I-Balken, über deren Gurtungen behufs Einsetzens der kleinen quadratischen Querstäbe rechteckige Blechmuffen geschoben werden.

Diese Muffen sind behufs Aufnahme der Querstäbe quadratisch gelocht, und nach Einschieben der Stäbe werden Splinte in dem Zwischenraume zwischen Muffe und Trägersteg durch die gelochten Stabenden geschoben. Die Querstäbe tragen, wie bei *Vaux*, mit Draht gebundene Querleisten, und die Zwischendecke wird, wie bei allen derartigen französischen Systemen aus Gyps-Beton, in den Stabrost eingestampft.

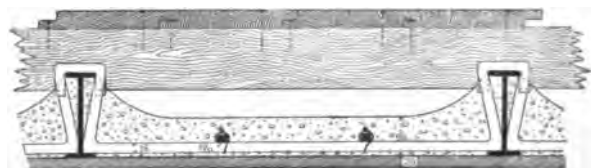


Fig. 99.

Das System *Rouffel* (Fig. 99) unterscheidet sich gegen jenes von *Thuasne* nur dadurch, daß die Querstäbe, wie bei *Vaux*, bündelartig über die I-Träger gebogen werden und diese sehr wirksam gegen einander absteifen. Auch hier hängt die Gypsdecke am Roste der Quer- und Längsstäbe.

Auch Fig. 100 zeigt eine ähnliche Anordnung, bei welcher jedoch der Gyps-Beton nach unten durch Fayence-Fliesen (vergl. Art. 52, S. 56) abgeschlossen ist. Für letztere wird ein gutes Widerlager durch Hohlziegel gebildet, welche, auf die untere Gurtung der Balken gesetzt, dieser zugleich eine bessere Wirkung durch Vergrößerung des vorspringenden Körpers verleihen.

Da dieses Fliesengewölbe eine erhebliche Tragfähigkeit besitzt, so wird diese Decke auch ohne den Rost von Eisenstäben gebildet, welcher deshalb nur in die linke Hälfte eingetragen ist.

Oben ruhen auf den in größeren Abständen gelagerten hölzernen Querbalken die Fußbodenlager wieder der Länge nach, so daß die Bretter wieder winkelrecht zu den Balken laufen. Der Gyps-Beton umhüllt sowohl die Querbalken, wie die Längslager wenigstens so weit, daß sie unverschieblich liegen.

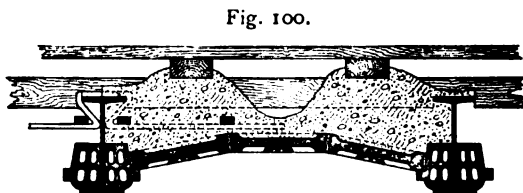


Fig. 100.

 $\frac{1}{15}$ n. Gr.

Bei allen diesen Systemen ist die Theilung der Querstäbe etwa 75 cm, die der Längsstäbe etwa 25 cm. Sie tragen kleine Lagerbalken auf den Trägern und den Gypsputz der Decke ohne Zwischenmittel unter der Gyps-Betonfüllung. Unter den Trägerflächen erhält der Putz keine besondere Befestigung.

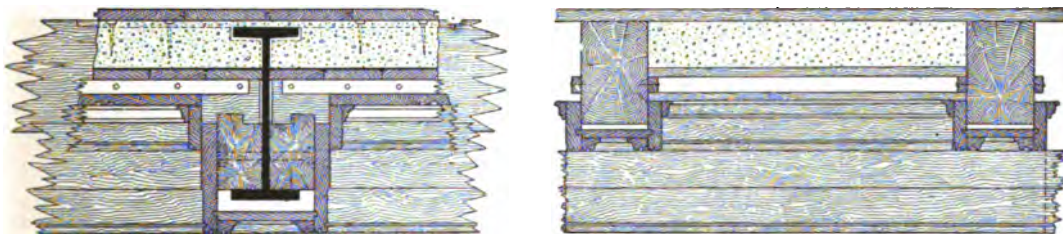
Die kleinen Querbalken bleiben jedoch auch wohl weg, und dann werden die Längslager dicht neben die Eisenbalken unmittelbar in den Gyps-Beton gelagert, welcher dazu tragfähig genug ist, namentlich wenn er das Stabgerippe enthält, oder auf Fliesenbogen ruht. Da die Laften dann nicht mehr von den Holztheilen, sondern durch die Gypsfüllung auf die Balken übertragen werden, so bildet diese Ausbildung der französischen Gypsdecke streng genommen schon ein Beispiel der in Kap. 4 zu besprechenden Decken aus Eisen und Stein oder Mörtel.

Dafs diese Gypsdecken wegen des Zerfallens des Gypses in der Hitze nicht zu den feuersicheren zu rechnen sind, wurde bereits in Art. 36 (S. 45) erwähnt. Aus diesem Grunde sind auch die den Träger begleitenden Kämpferstücke in Fig. 100 nicht so gestaltet, dafs sie den unteren Trägerflansch ganz einhüllen. Es wäre jedoch diese noch später (in Kap. 4, unter b) zu besprechende Formung auch hier wohl am Platze, weil die Fließendecke auch nach Zerfallen des Gypses noch als ziemlich widerstandsfähig anzusehen ist, wenn nur die Balken ihre Tragfähigkeit nicht durch Erhitzen verlieren.

Eine weitere deutsche Anordnung dieser Gruppe zeigt Fig. 101⁷¹⁾, welche der in Fig. 92 (S. 55) dargestellten ähnlich ist. Die möglichst in der Decke versteckten I-Unterzüge tragen über dem unteren Flansch an den Steg gebolzte Lagerhölzer für

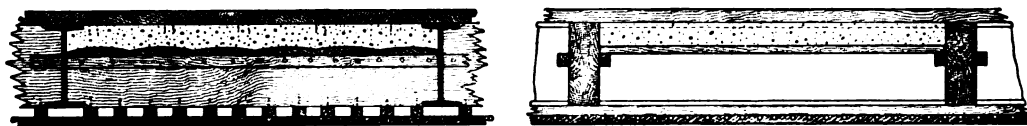
58.
Neuere
deutsche
Anordnungen.

Fig. 101.



die Holzbalken. An die Lagerhölzer sind zugleich die den unteren Theil der Unterzüge verdeckenden Verschalungen aus profilirten Brettern angebolzt; in übereinstimmender Weise sind auch die unteren Balkentheile behandelt.

Fig. 102.



Auch Fig. 102⁷²⁾ zeigt eine ähnliche Anordnung, bei welcher jedoch die enger gelegten Eisenbalken ganz in der Decke verschwinden. Die Querbalken aus Bohlen lagern unmittelbar auf dem unteren Flansch.

⁷¹⁾ Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 410.

⁷²⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 298.

Für die Ausbildung der Decken mit Eisenträgern und Holz sind auch besondere Trägerformen eingeführt worden.

Der Träger von *Gocht*⁷³⁾ in Chemnitz (Fig. 103), gewalzt von der Königin-Marienhütte in Cainsdorf (18 cm hoch aus Flusseisen) mit einem Widerstands-Moment von 132 (in Centim.) bezweckt die unmittelbare Nagelung der Fußbodenbretter und der Deckenschalung an die Eisenträger.

Zu diesem Zwecke wird in die Hohlkehlen, welche beim Zusammennieten der getrennt gewalzten Trägerhälften entstehen, eine birnförmige, gerippte Gussleiste oder ein mit Draht umwickeltes dünnes Rundeisen (Fig. 103) vor dem Vernieten eingelegt. Treibt man nun Nägel durch die Bretter in die Hohlkehlen, so biegen sich diese um die Einlagen herum und werden zu Befestigungshaken. In halber Höhe haben die Stege kleine Ansätze zur Auflagerung von Einschubbrettern, welche die Füllung aufnehmen, so daß die Gesamtanordnung einer hölzernen Balkenlage völlig entspricht.

Dieser Träger wurde in der Nicolai-Apotheke zu Chemnitz, im Block G der Lagerhäuser der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Gesellschaft und in den Erfrischungsräumen *Meins* in Hamburg verwendet.

Der Träger von *Klette*⁷⁴⁾, gleichfalls von der Königin-Marienhütte in Cainsdorf (21 cm hoch, 29,8 kg für 1 m schwer), mit einem Widerstands-Moment von 225 (in Centim.) gewalzt, ist in Fig. 104 u. 105 in älterer und neuerer Gestalt dargestellt.

Fig. 104 zeigt links die Anordnung einer hölzernen Einschubdecke auf Lagerhölzern, welche vom unteren Flansch getragen werden und zugleich eine Verchalung des Trägers aufnehmen. Die Fußbodenbretter ruhen auf kleinen Lagerhölzern, welche mit Asphalt in die obere Gurtung eingefetzt sind. Die Füllung ist in gewöhnlicher Weise angeordnet und unter den Brettern mit Asphaltfilz abgedeckt. Die untere Trägerverchalung ist noch an einer in die untere Gurtung eingelegten und seitlich verschraubten Holzleiste befestigt.

In Fig. 105 ist an der neueren Gestalt des Trägerquerschnittes links eine gewöhnliche Einschubdecke mit geputzter Deckenschalung gezeigt. Der Hohlraum in der oberen Gurtung ist mit einer nagelbaren Mischung aus Asphalt und Holzabfällen heiß angefüllt, so daß auch hier unmittelbare Nagelung der Fußbodenbretter, wie bei *Gocht*, ermöglicht ist; die Träger werden mit dieser Füllung angeliefert. In die untere Gurtung lassen sich, zufolge der gewählten Form des Gurtungsquerschnittes, Holzklötze fest einklemmen, unter denen die Deckenschalung befestigt wird. Gelegenheit zur Auflagerung der Einschubbretter giebt der obere Absatz der unteren Gurtung.

Beide Träger, der von *Gocht* und jener von *Klette*, namentlich der letztere, zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Widerstands-Momente und breite Lagerflächen der unteren Gurtung aus, welche die Auflagerung auf die Wände wesentlich erleichtern. Beide sind wiederholt zur Zufriedenheit der Ausführenden zur Verwendung gelangt.

Ein dem *Klette*'schen Träger sehr ähnlicher kann auch aus den Walzeisen von *Lindsay*⁷⁵⁾ zusammengesetzt werden.

Fig. 103.

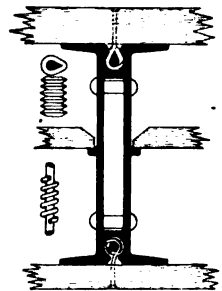


Fig. 104.

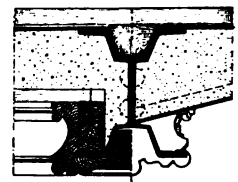
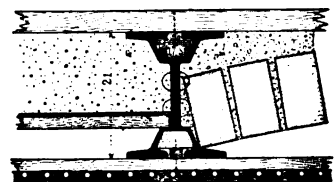


Fig. 105.



⁷³⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 96, 555; 1887, S. 44.

⁷⁴⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 120, 298. — Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 146, 234. — Civiling. 1886, S. 283.

⁷⁵⁾ Englisches Patent. — Siehe auch: Engineer, Bd. 64 (1887), S. 289. — Engng., Bd. 44 (1887), S. 209. — Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 389.

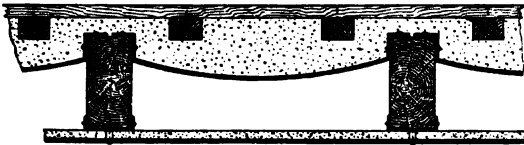
Die Schwierigkeiten, welche durch eine dauerhafte Befestigung von hölzernen Brettern auf eisernen Balken entstehen, sucht der Patenthaken von *L. Bethe* in Stade ⁷⁶⁾ zu beseitigen.

Im Gegensatz zu diesen Anordnungen mit Eisenbalken und hölzerner Stützung des Fußbodens werden in England Decken verwendet, bei denen die Träger wieder Holzbalken, die Theile, welche den Fußboden tragen, aber aus Eisen, und zwar Eisenblech hergestellt sind (System *Edwin May*). Ein Beispiel dieser vielfach ver-

60.
Englische
Anordnungen.

schiedenen Anordnungen zeigt Fig. 106. Auf die Balken sind 6 bis 8 mm starke Hängebleche genagelt, welche mittels Bettung und Lagerbohlen den Fußboden aufnehmen. Nach unten ist die Balkenlage gleichfalls durch ein schwaches Blech abgeschlossen. Die Theile sind zugleich so angeordnet, daß die

Fig. 106.



Decke einen hohen Grad von Feuerficherheit erhält.

Von oben kann die Hitze nicht eindringen, da die Holztheile des Fußbodens nur mit der feuerficheren Füllung in unmittelbarer Berührung stehen. Unten ist das Blech mittels eiserner Hülfsen für die Nägel um einige Centimeter von den Balken entfernt gehalten; der Zwischenraum ist mit Füllstoff geschlossen und jeder Balken unten noch mit einer Blechkappe versehen.

Bedenklich sind solche Anordnungen mit dünnen Blechen in feuchten Räumen, da die Bleche leicht durchrosten; sie müssen jedenfalls durch guten Anstrich oder Verzinkung geschützt sein.

Literatur

über »Balkendecken in Holz und Eisen«.

Nouveau système de planchers en bois et fer. Nouv. annales de la const. 1873, S. 78.

Planchers en fer et en bois, étude comparative de divers types. Nouv. annales de la const. 1875, S. 103.

DÖRFEL. Vergleich der neuen Decken-Construction, d. i. wo Träme und Diebelbäume zwischen Traversen aufliegen, mit der alten Construction, wo die Träme und Diebelbäume auf der Haupt- und Mittelmauer aufliegen. *Zeitschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1875, S. 152.

Planchers, système Murat. Nouv. annales de la const. 1882, S. 26.

GRISON, H. *Planchers en bois et en fer.* Nancy 1891.

4. Kapitel.

Balkendecken in Stein, bzw. Mörtel und Eisen.

Hierher gehören Anordnungen, bei denen eiserne Träger die eigentlich tragenden Theile der Decken-Construction bilden und die Ausfüllung der Trägerfache ganz oder zum Theile mit Stein, bzw. mit Mörtelkörpern erfolgt; in der Regel hat diese Fachfüllung dann auch die Fußbodenlast zu tragen.

a) Auswölbung der Trägerfache.

Eine häufig vorkommende Decken-Construction ist diejenige, bei der zwischen die eisernen Träger aus Backsteinen (Vollsteinen) gewölbte Kappen eingezogen werden ⁷⁷⁾.

61.
Auswölbung
mit
Vollsteinen.

⁷⁶⁾ Siehe: *Deutsche Bauz.* 1883, S. 325.

⁷⁷⁾ Siehe: *Centralbl. d. Bauverw.* 1883, S. 159; 1888, S. 63. — *Wochschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1883, S. 67.

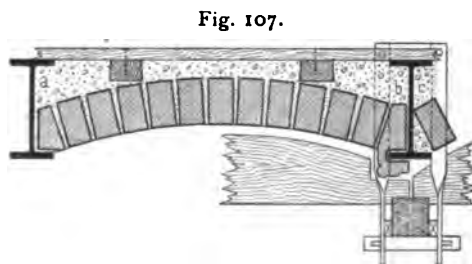
Fig. 107 zeigt drei Abarten dieser Anordnung. Es werden zwischen die in einzelnen Fällen bis zu 3,0 m, gewöhnlich etwa 1,5 m, von einander entfernten Träger $\frac{1}{2}$ Stein starke Kappen gespannt, deren Kämpfer durch zugehauene (Fig. 107 links) oder geformte Steine (Fig. 107 am rechtsseitigen Träger links) oder Mörtel (107 am rechtsseitigen Träger rechts), bzw. Beton gebildet werden. Die zweite dieser Anordnungen schützt den Träger von unten her gegen Feuer.

Als Mörtel wird meist Cementmörtel im Mischungsverhältnisse 1 : 3 verwendet. Die Lehrbogen für die Schalung werden auf kleinen Hängerüstungen angebracht und bestehen aus kreisförmig geschnittenen Brettern; bei *Moller'scher* Wölbung kann man die Lehrbogen auf den Hängerüstungen unter den Trägern gleiten lassen. Der Pfeil der Bogen richtet sich nach der Trägerhöhe, da der Scheitel der äußeren Laibung sich thunlichst nicht über die obere Gurtung erheben soll. Das Hervortreten der Gewölberücken ist jedoch bei geringer Trägerhöhe nicht immer zu vermeiden.

Der Raum über den Gewölben wird zweckmäßig mit trockenem Sande, besser mit einem ganz mageren Gemenge von Cement oder Kalk mit Sand (1 : 10) oder einem Beton aus Schlacken und Kalkmilch gefüllt. Diese Füllung trägt dann in der Regel mittels eingebetteter Lagerhölzer den hölzernen Fußbodenbelag, welcher voll aufliegen soll; oder die Füllung nimmt je nach der Benutzung der Räume Estriche aus Gyps, Cement, Beton oder Asphalt auf, oder sie wird mit Fliesenbelägen abgedeckt.

Diese Auswölbung mit vollen Steinen ist bei der Erweiterung des Regierungsgebäudes zu Hildesheim ⁷⁸⁾ in ausgedehntem Maße unter völliger Umhüllung der unteren Gurtung der eisernen Träger nach der zweiten Anordnung in Fig. 107 zur Ausführung gekommen.

Man hing zunächst mittels Hängebügel, ähnlich dem in Fig. 107 dargestellten, mit Seitentheilen aus Rundeisen und Ober- und Untertheil aus Bandeisen eine breite Bohle unter jeden Balken, auf welcher die den Trägerflansch einhüllende Reihe aus Dreiviertelsteinen in Cementmörtel versetzt wurde. Nachdem diese abgebunden war, unterstützte man wieder ähnlich, wie in Fig. 107, kleine Lehrbretter auf den überragenden Seitenkanten der Bohlen und wölbte nun die Kappen mit Vollsteinen aus.



Die Arbeit der Kappenwölbung wurde für 1,75 Mark für 1 qm, einschl. Versetzen der Trägersteine, vergeben. Eine glatte Kappe ohne Trägerumhüllung hätte 1,35 Mark gekostet. 1000 Stück verzierte Dreiviertelsteine für schwächere Balken kosteten 81,5 Mark, für die stärkeren Unterzüge 103,5 Mark. Die gesammten auf die Einhüllung der Träger-Unterflansche entfallenden Kosten betrugen durchschnittlich 3,38 Mark für 1 lauf. Meter Träger. Der durch die kräftige Hervorhebung der Träger zwischen den Kappen mittels der unbedeckten Hüllensteine erzielte Gesamteindruck ist ein guter.

Für viele Räume ist die gewölbte Unterfläche der Balkenfache unerwünscht. Das Anbringen einer glatten, geschalten und geputzten Decke kann, auch wenn die unteren Gurtungen der Träger mit Stein eingehüllt sind, erzielt werden, indem man in die Auswölbung schmale Bohlenstücke mit einmauert, deren Unterkante bündig mit den tiefsten Steintheilen liegt und zum Anbringen der Deckenschalung benutzt wird ⁷⁹⁾.

Von besonderer Wichtigkeit ist bei diesen Decken neben der Seitensteifigkeit der Träger möglichste Leichtigkeit der Fachausfüllung, da diese zur Verminderung

⁷⁸⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 207.

⁷⁹⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 65.

des Kappenschubes beiträgt. Es sind daher künstliche poröse oder Tuffstein-Schwemmsteine für solche Auswölbungen besonders geeignet. Auch Kuntsteine aus Asche und Mörtel sind für solche Zwecke vorgeschlagen worden ⁸⁰⁾.

Bei einer bestimmten Bauausführung ⁸¹⁾ wurden die 2 m weiten Trägerfelder bei 21 cm Pfeil 12 cm stark in Tuffstein und gewöhnlichem Schwarzkalkmörtel ausgewölbt und die Zwickel dann mit Schlacken-Beton aus 3 Theilen Kohlen Schlacke und 1 Theil Weißkalk überstampft. Die Ausführung erfolgte kurz vor Eintritt des Frostes (Mitte December), die Ausrüstung nach Aufgang des Frostes in den ungeschützten Kappen (im April). Die Kappen wurden dann mit 1250 kg auf 1 qm über die ganze, mit 1880 kg auf 1 qm einseitig bis zur Mitte und mit 1525 kg auf 1 qm in der Nähe des Scheitels belastet, während Nagelarbeiten am Fußboden mit schweren Hämmern nahe der Laft ausgeführt wurden. Hierbei wurde kein Rifs beobachtet.

Bei 1970 kg für 1 qm einseitiger Belastung zeigte sich dann ein Rifs, 75 cm vom belasteten Kämpfer entfernt, in der inneren Laibung. Nach zweitägiger Ruhe wurde weiter belastet, und bei 2000 kg auf 1 qm entstand auch ein Rifs 5,5 cm vom unbelasteten Kämpfer in der äußeren Laibung. Bei 2400 kg auf 1 qm einseitiger Belastung erfolgte schließlich der Bruch.

Diese zwischen die eisernen Träger eingesetzten Wölbungen üben nun einen beträchtlichen Seitenschub auf die Träger aus, welcher für die an beiden Seiten Gewölbe aufnehmenden Träger bei voller Belastung allerdings ganz, bei Belastung nur eines der anschließenden Gewölbe jedoch nach Maßgabe des in Kap. 6 Vorzuführenden nur zum Theile zur Ausgleichung gelangt. Die Träger werden somit nicht bloß lothrecht, sondern auch wagrecht belastet, und da sie in der üblichen schmalen I-Form gegen die letztere Art der Beanspruchung nur wenig Steifigkeit besitzen, so wird es in vielen Fällen nöthig, diese Schübe durch Anker aus Runden völlig aufzuheben, wobei dann für die freie Trägerlänge zwischen den Ankern eine geringe Beanspruchung in wagrechtem Sinne noch bleibt.

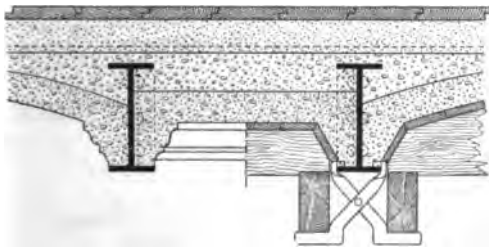
Für derartige Anordnungen sind daher solche Trägerquerschnitte besonders zweckmäßig, welche auch in seitlicher Richtung, d. h. für die lothrechte Mittelaxe berechnet, ein großes Widerstandsmoment besitzen. Solche Träger sind die in Fig. 103, 104 u. 105 dargestellten Patentträger von *Gocht* und von *Klette*, auch der zusammen gesetzte von *Lindsay* ⁸²⁾. Wie Fig. 105 rechts zeigt, ergiebt namentlich der *Klette*'sche Träger eine gute Kämpferanlage; ähnlich sind auch die Verhältnisse beim

Träger von *Lindsay*. Auch das enge Zusammenlegen je zweier gut mit einander verbundener Träger bildet ein gutes Mittel, um für weit gespannte Kappen große Seitensteifigkeit der Träger zu erzielen (Fig. 108 u. 109).

Für die von beiden Seiten eingewölbten Träger wird die seitliche Beanspruchung selten so groß, daß aus ihr eine unbenutzliche Stärke der Träger erwüchse; im

Endabschlusse der ganzen Balkenanlage tritt aber der Schub des letzten Gewölbes frei auf, ohne einen Gegenschub zu finden; hier muß also stets eine besondere Vorkehrung zur Aufnahme der Schübe getroffen werden. Bei starken Außenwänden des überdeckten Raumes kann man diese als Widerlager des letzten Gewölbes benutzen; einerseits ist jedoch die Wandstärke, namentlich bei hoher Lage der Decke,

Fig. 108.



⁸⁰⁾ Von *Schröder* in: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 499.

⁸¹⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 46.

⁸²⁾ Siehe: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289.

nur in seltenen Fällen zur Aufnahme wagrechter Kräfte genügend; anderseits hat es Bedenken, die übrigens ganz auf dem beweglichen Trägerroste ruhende Decke mit der unbeweglichen Wand in feste Verbindung zu bringen. Es wird daher in den meisten Fällen entlang der Abschlußwand noch ein Träger zu legen sein, der nun dem vollen Seitenschube ausgesetzt wird und daher der Verankerung bedarf. Stellt man zu diesem Zwecke mittels fest angezogener Bolzenanker eine das letzte Gewölbe umfassende Verbindung des vorletzten mit dem letzten Träger her, so kann man den so entstandenen Körper als einen wagrecht liegenden Träger ansehen, dessen äußere Gurtung vom letzten, dessen innere Gurtung vom vorletzten und dessen Wand von der letzten Kappe, verbunden mit den Zugankern, gebildet wird; dieser muß nun im Stande sein, den vollen Schub der vorletzten Kappe auf die freie Länge des überdeckten Raumes zu tragen.

Die beiden letzten Träger werden sonach bei voller Belastung der beiden letzten Kappen am ungünstigsten, und zwar in dreierlei Weise beansprucht:

1) Als Träger auf zwei Stützen von der Breite des überdeckten Raumes in lothrechtlem Sinne durch die volle Last der Kappen; diese Beanspruchung fällt für den letzten Träger weg, wenn man ihn in die Mauer oder auf einen Mauerabfatz lagern kann, wie in Fig. 110.

2) Der letzte Träger an der Wand als continuirlicher Träger, dessen Oeffnungsweite gleich der Ankertheilung ist, in wagrechtem Sinne durch den von den Ankerzügen als Stützendrücken aufzuhebenden Schub der belasteten letzten Kappe; diese Beanspruchung fällt für den vorletzten Träger aus, weil sich an ihm die Schübe von beiden Seiten her ausgleichen.

3) Als Gurtungen eines Trägers, dessen Höhe gleich der Trägertheilung ist, in wagrechtem Sinne durch den vollen Schub der belasteten vorletzten Kappe.

Auf dieser Grundlage wird in Kap. 6 die Bemessung derartiger Decken vorgenommen werden.

Will man die Kappenschübe unmittelbar in jeder Kappe aufheben, so ist die in Fig. 111 u. 112 dargestellte Anordnung von Flacheisen zu empfehlen, da die Lochung aller Träger für Rundeisenanker höchst unbequem ist.

Verankerte Auswölungen von ganz besonders bedeutenden Abmessungen, wie sie der nordamerikanische Architekt *Guaflavino*, z. B. in

der öffentlichen Bibliothek zu Boston⁸³⁾, dem Gebäude des Arion-Club und vielen Wohngebäuden in New-York, so wie auch in Speichern und Seidenwebereien zu Barcelona ausgeführt hat, sind in Fig. 113 u. 114 dargestellt.

Fig. 109.

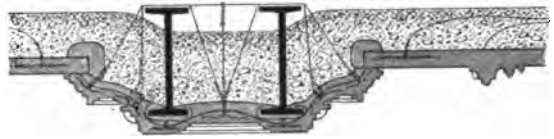


Fig. 110.

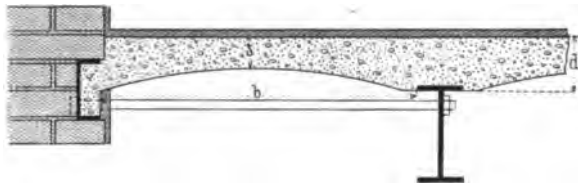
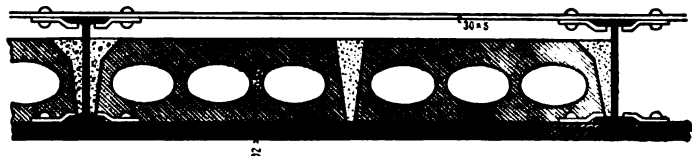


Fig. 111.

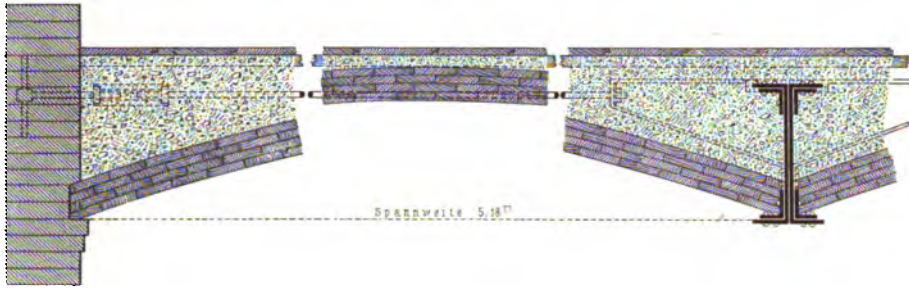


Fig. 112.



⁸³⁾ Siehe: *Engng. news*, Bd. 24 (1889), S. 434.

Fig. 113.



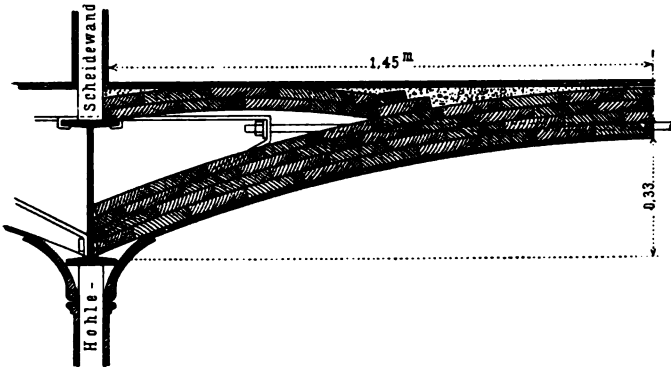
Vom Haus des Arion-Club zu New-York.

 $\frac{1}{80}$ n. Gr.

Die Wölbung wird in gebrannten Thonplatten von $30 \times 15 \times 2,5$ cm, die unterste Schicht in einem schnell bindenden Patent-Mörtel, die übrigen in gewöhnlichem Cementmörtel verfetzt, ausgeführt. Man kann sich hiermit der im einzelnen Falle erforderlichen Stärke sehr genau anschließen, während die vollen Backsteine in dieser Beziehung sehr unhandlich sind. Die Unterfläche der untersten Schicht wird auch glasiert ausgeführt.

Die Bogenzwickel sind in Fig. 113 mit leichtem, magerem Beton überstampft, der den Träger ganz einhüllt; in den Beton sind leichte Fußbodenlager eingestampft, auf denen ein Bretterfußboden befestigt

Fig. 114.



Decken in Miethhäusern zu New-York.

 $\frac{1}{20}$ n. Gr.

ist. Um das so entstehende bedeutende Gewicht zu vermeiden, sind in Fig. 114 Hohlräume in den Bogenzwickeln durch Aufsetzen kleiner Kappen auf die großen gelassen. Die Verankerung ist aus Rundeisen und Flacheisenbogen so angeordnet, daß sie leicht in Spannung verfetzt werden kann, ganz im Mauerwerk bleibt, also dem Feuer nicht ausgesetzt ist, und die Träger möglichst in ganzer Höhe faßt.

Feuersicher ist aber diese Decke nicht vollkommen, da das Feuer die Träger von unten erreichen kann; denn auch in Fig. 114

ist eine nothdürftige Deckung der Träger nur da erreicht, wo Zwischenwände unter ihnen stehen.

Die Spannweite der einzelnen Kappen wird bei $\frac{1}{10}$ Pfeilverhältniß bis zu 12,2 m ausgeführt, wobei die Anzahl der Plattenschichten von 2 bis 6 steigt; 3 Schichten reichen unter gewöhnlichen Verhältnissen bei 3,7 m. Der Preis dieser Decke für 1 qm wird je nach der Dicke der Wölbung von der geringsten bis zur größten zu 13,5 bis 31,5 Mark für 1 qm angegeben.

Nach angestellten Versuchen ist die Tragfähigkeit dieser Deckenart bei 10-facher Sicherheit gegen Bruch ermittelt, wie in nachstehender Tabelle angegeben ist:

Stichbogentonne			Böhmische Kappe		
Weite	Anzahl der Plattenschichten	Tragfähigkeit	Weite	Anzahl der Plattenschichten	Tragfähigkeit
1,5	2	4820	1,5 bis 3,7	2	4000
1,5 bis 3,7	3	3000	3,7 bis 4,9	3	4520
3,7 bis 4,9	4	3000	4,9 bis 6,1	4	4800
4,9 bis 6,1	5	3000	6,1 bis 7,3	5	5000
6,1 bis 7,3	6	3000			
Meter		Kilogr. für 1 qm	Meter		Kilogr. für 1 qm

Beim Zerreißen zweier Probetafeln aus mehreren mit Cement verbundenen Platten auf einer *Fairbanks*-Maschine ergaben sich die nachfolgenden Zugfestigkeiten:

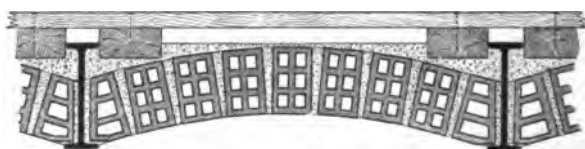
Des Probestückes	1. Probe (2 Jahre alt)	2. Probe (2 Jahre 2 1/2 Monate alt)
Länge und Breite	31,8 cm	31,8 cm
Dicke	8,3 cm	7,6 cm
Querschnitt	264 qcm	242 qcm
Bruchlast	60,4 t	23,8 t
Festigkeit für 1 qcm	230 kg	96,5 kg.

Eine besondere Abart dieser Wölbung bildet das *Zackengewölbe*⁸⁴⁾, welches bei geringer Weite aus gewöhnlichen Mauerziegeln, bei größeren Weiten aus Wölbziegeln hergestellt werden soll, und zwar erfolgt die Wölbung in *Moller'scher* Art auf einer Holzlehre, welche der durch Vorspringen der Steinkanten zackig gebildeten Unterfläche entsprechend ausgeschnitten ist. Der Bogen erhält, nahezu wie ein scheitrecther geformt, sehr geringen Pfeil. Die zur Aufnahme des Putzes rauh geformte Unterfläche und der geringe Pfeil werden als besondere Vortheile gerühmt, jedoch erzeugt letzterer einen stark vergrößerten Schub; erstere ruft ungleichmäßige und ungewöhnliche Stärke des Putzes hervor. Die Anordnung ist einer sehr flachen Auswölbung in keinem wesentlichen Punkte überlegen.

62.
Auswölbung
mit hohlen
Kunststeinen.

Die Auswölbung mit Hohlziegeln und Lochsteinen (Fig. 111 u. 115) wird wie die vorige ausgeführt, wobei der Kämpfer entweder in Mörtel oder, da die Lochsteine⁸⁵⁾ kein Zuhauen gestatten, in entsprechenden Formsteinen anzulegen ist. Die Bemessung der Kappen kann wie jene bei Verwendung von Vollsteinen erfolgen, da die Tragfähigkeit von der der vollen Kappen nicht erheblich verschieden ist⁸⁶⁾.

Fig. 115.



Nach französischen Versuchen⁸⁷⁾ kann eine derartige Kappe bei 4 m Weite, 0,11 m Stärke und 1/10 Pfeil unbedenklich mit 1000 kg auf 1 qm belastet werden. In der allgemeinen Anordnung auch des Fußbodens weicht diese Anordnung von der vorigen nicht ab. Fig. 115 zeigt insbesondere einen hölzernen Fußboden, welcher wegen der geringen Trägerhöhe nicht unmittelbar auf der Ueberfüllung des Bogens ruht. Wegen des geringen Gewichtes der Hohlziegel (etwa 1200 kg für 1 cbm) können die Träger dieser Decken nicht unerheblich leichter sein, als die der Wölbungen aus Vollsteinen.

Auch die Aussetzung der Fache mit Hohlsteinen nach Fig. 111 u. 112, welche nur sehr geringe Höhe beansprucht, hat sich nach französischen Versuchen⁸⁸⁾ als ebenso tragfähig bewiesen, wenn nach *Blouse* die in Fig. 111 angegebenen Flacheisenverbindungen der Trägerflansche oben und unten in etwa 1,0 m Theilung angebracht und die Fugen in Cementmörtel hergestellt werden.

Eine gleichfalls leichte Decke liefert die 1/4 Stein starke Auswölbung nach Fig. 116⁸⁹⁾. Die ganz ungelochten Träger nehmen mittels eingesetzter Holzklötze

⁸⁴⁾ Siehe: Bautechniker 1884, S. 173 (Patent *Schober*).

⁸⁵⁾ Ueber die Festigkeit der Lochsteine siehe Theil I, Band 1, erste Hälfte (S. 85) dieses »Handbuches«.

⁸⁶⁾ Eine einschlägige Construction vom *Lyce Janson de Sailly* zu Paris, bei welcher die 26 cm hohen I-Träger paarweise gelegt sind, die lichte Weite der Kappen 1,90 m, die Pfeilhöhe 16 cm, die Wölbdicke im Scheitel 8 cm und jene am Kämpfer 11 cm beträgt, ist beschrieben in: *Le génie civil* 1885, S. 19.

⁸⁷⁾ Siehe: *Annales industr.*, Bd. 7 (1883), S. 135.

⁸⁸⁾ Siehe ebendaf., Bd. 7 (1883), S. 5 u. ff.

⁸⁹⁾ Vergl. auch: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 409.

kleine, mit ihrer Oberkante mit den Trägern bündig liegende Leisten auf, welche den Fußboden tragen. Dieser ruht nicht unmittelbar auf der wenig tragfähigen Füllung, sondern überträgt die Verkehrslast unmittelbar auf die Träger. Die Füllung

Fig. 116.



ist aus flach liegenden, porösen Steinen gebildet, welche gewölbeartig auf in die Trägerflanken gesetzten Kämpferstücken ruhen. Die Fugen sind mit Kalkmörtel gefüllt.

Um die Dichtigkeit zu erhöhen, ist diese Wölbung oben mit einer dünnen Sandschicht abgeglichen. Die Wölbung verspannt zugleich die

Holzklötze so, daß sie nicht aus den Trägern fallen können. Unter der Füllung ist an den Klötzen die Trägerverchalung verschraubt, welche auf ihrer Oberkante die in Rahmen und Füllung gearbeitete Deckentäfelung trägt.

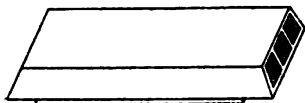
Da das Gewicht der porösen Steine bis auf 1000 kg für 1 cbm sinkt, so hat diese im Aeußeren reiche, trotzdem nur wenig Höhe einnehmende Decke ein sehr geringes Gewicht. Sie gestattet jedoch keine sehr weite Trägertheilung, da der ununterstützte Fußboden bei großer Weite der Fache und gewöhnlicher Stärke zu große Durchbiegungen annehmen würde. Die gewöhnliche Trägertheilung ist auch hier 75 cm.

Wird diese $\frac{1}{4}$ Stein starke Wölbung aus gut gebrannten porösen oder Lochsteinen in Cement- oder verlängertem Cementmörtel ausgeführt, so kann man sie den in Wohnräumen gewöhnlich vorkommenden Laften unbedenklich aussetzen, also den Fußboden auf die Kappen wirklich auflagern.

Nahe verwandt mit den Hohlziegeldecken sind die in Frankreich und Amerika verbreiteten Zwischendecken aus hohlen Gyps- oder Terracotta-Kasten, welche in sehr verschiedenartigen Formen vorkommen und bei denen die Träger zweckmäßig mittels der von *Bleuse* zuerst angegebenen, in Fig. 111 u. 112 dargestellten Flacheisen mit einander verspannt werden.

Hohle Gypsblöcke (Fig. 112) trugen bei Versuchen *Oudry's*⁹⁰⁾, bei 16 cm Höhe, 100 cm Trägerentfernung, Füllung der Fugen mit Gyps und 30 Procent Hohlraum, durch 6 Wochen 3000 kg auf 1 qm, ohne Spuren des Nachgebens zu zeigen. Ein Gewicht von 200 kg, welches 3 m hoch mitten auf eine 70 cm weite und 16 cm starke Füllung fiel, so wie ein solches von 370 kg, welches auf dieselbe Füllung, aber mit untergelegten Querstäben nach Fig. 111 u. 112 in 50 cm Theilung von 1 m Höhe schlug, brachten keine Formänderung hervor. *Ginain* erzielte auf 12 cm hohen Füllungen mit 3140 kg Last auf 1 qm eben so wenig Zerstörungen; dabei zeigten die nur schwach versteiften Träger keinerlei seitliche Ausweichung.

Fig. 117.



Hohlziegel gewöhnlichen Formates (Fig. 111) mit etwa 40 Procent Hohlraum zeigten ähnlich günstige Verhältnisse, und Terracotten nach *Perrière* (Fig. 117⁹⁰⁾, welche in der Fabrik *Derain & Dins* bei Châlons-sur-Saône in Längen von 55 bis 70 cm, bei 20 cm Fußbreite, angefertigt werden, haben bei Versuchen im *Conservatoire des arts et métiers* zu Paris eine Tragfähigkeit von über 2000 kg für 1 qm gezeigt.

Eine deutsche Ausführung einer tragenden Gyps-Zwischendecke aus dem Gerichtshause zu Frankfurt a. M.⁹¹⁾ zeigt Fig. 118.

Zunächst wurde die Deckenbekleidung mit 3 Hanfgewebe-Einlagen gegossen und fertig unter die Träger gebracht, indem man Bindedrähte an die mit eingegossenen verzinkten Drahtenden anknüpfte. In die Bekleidungsstafeln der Felder waren bündelartig nach oben vorragende Drähte zu inniger Verbindung mit den übrigen Schichten der Decke eingegossen.

⁹⁰⁾ Siehe: Schweiz. Bauz., Bd. 5 (1885), S. 16. — *Le génie civil* 1885, S. 19.

⁹¹⁾ Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 275.

Nach genauer Einpassung dieser Bekleidung wurde eine weitere Gypslage mit Hanfgewebe-Einlagen eingebracht, um die Bekleidungsstücke mit den Trägern sicherer, als durch die Bindedrähte zu vereinigen. Weiter wurden Gypsleisten eingestrichen, um die Fugen zwischen der Trägerbekleidung und den Bekleidungstafeln der Fache sicher zu decken und diese Tafeln am Verschieben zu hindern. Diese Körper genügten, um als Rüstung für die weiteren Arbeiten zu dienen.

Nun wurde eine dicke Lage aus Gyps mit Kalkbrei und Kieselsteinen eingefüllt, und schließlich der Feuerficherheit wegen eine nach den Trägern bogenartig heruntergezogene Kies-Betonfschicht aufgestampft. Das Einbringen der Schichten erfolgte so, daß alle unmittelbare Verbindungen mit den Nachbarn eingehen konnten.

Die Tragfähigkeit dieser Decke ist nicht geringer, als die einer guten Betonkappe, und Erschütterungen sind nicht im Stande, die reiche Gypsdecke zu verletzen. Schwere fallende Gewichte schlugen nur kleine Löcher, ohne die Umgebung zu verletzen. Die Kosten der Decke betrugen für die Gypsteile je nach dem Reichtum der Ausschmückung 12 bis 15 Mark, für den Beton 5,25 Mark für 1 qm.

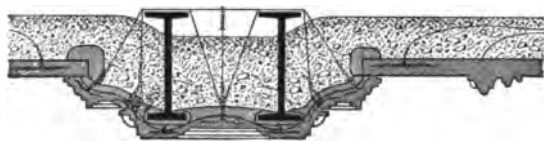
Nach dem bereits in Art. 35 (S. 44) erwähnten Patent *Laporte* ist in Frankreich auch die Auswölbung eiserner Träger mit Terracotten⁹²⁾ gebräuchlich, welche für wagrechte und gewölbte Unterfläche in Fig. 119 u. 120 dargestellt ist. Die Formstücke werden für Trägertheilungen von 65, 70 und 75 cm, so wie für Trägerhöhen von 12 bis 22 cm von der *Société anonyme de la Grande Tuilerie de Bourgogne* zu Montchanin-

les-Mines in der Weise hergestellt, daß die Seitenstücke für alle Fachweiten gleich breit, nämlich 21,5 cm in der Mitte, die Schlufsstücke für die verschiedenen Weiten 17,5, 22,5 und 27,5 cm breit, alle Stücke 32 cm lang geformt werden; die Wandstärke beträgt 2,0 bis 2,5 cm. Die Stofsugen werden in beiden Randreihen bündig, in der mittleren um 16 cm, d. h. die halbe Stücklänge, versetzt angeordnet. Die 1 cm weiten Fugen werden in Gyps oder Cement gesetzt; auf der Unterseite der Stücke sind Längsrillen eingestrichen, welche das mechanische Anhaften des unmittelbar unter die Terracotten zu bringenden Deckenputzes bezwecken.

Ueber die Tragfähigkeit dieser offenbar dichten und für den Schall schwer zu durchdringenden, dabei trockenen Deckenfüllung sind Versuche vom *Conservatoire des arts et métiers*, von der *Société centrale des architectes* und der *Société nationale des architectes*, sämtlich in Paris, angestellt, welche die nachfolgenden Ergebnisse lieferten⁹³⁾.

Auf die unten flache Decke nach Fig. 119 wurde 84 Stunden nach der Herstellung auf die halbe Breite eines Trägerfaches Eisenballast aufgepackt. Es erfolgte der Bruch bei 65 cm Trägertheilung unter 7380 kg Auflast auf 1 qm, bei 70 cm Theilung unter 7300 kg Auflast und bei 75 cm Theilung unter 6710 kg. Noch grösser erwies sich die Tragfähigkeit der unten gewölbten Decke nach Fig. 120; die Terracotten für 12 bis 14 cm hohe Träger brachen unter 11 350 kg gleichförmiger Last auf 1 qm, die für 14 bis 16 cm

Fig. 118.

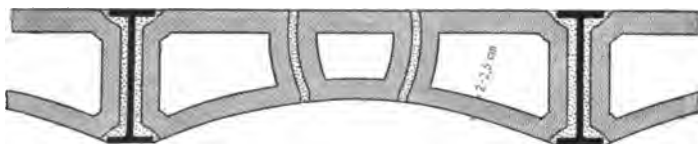


Vom Gerichtshaus zu Frankfurt a. M.

Fig. 119.



Fig. 120.



⁹²⁾ Siehe: *Annales industr.*, Bd. 7 (1883), S. 5 u. ff. — Deutsche Bauz. 1886, S. 202.

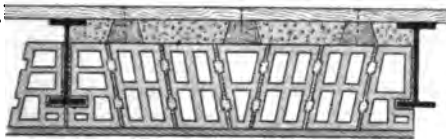
⁹³⁾ Nach: *Annales industr.*, Bd. 7 (1883), S. 110, 139.

Trägerhöhe bei 15510 kg und die für 18 bis 22 cm Höhe bei 14000 kg. Es erscheint somit zulässig, die Belastung einer derartigen Decke bis zu 1500 kg auf 1 qm zu steigern, während man für die unten ebenen Stücke etwa bis 800 kg für 1 qm gehen kann.

Diese Decken-Construction hat vor den meisten anderen in die Augen springende Vorzüge. Sie ist dem Baustoffe nach an sich trocken, beständig gegen Feuersgefahr und wegen der 50 bis 60 Procent des Inhaltes betragenden Hohlräume sehr leicht, dabei schwer durchdringlich für Schall, Wärme und Feuchtigkeit. Die entstehenden weiten Canäle kann man sogar zu Lüftungszwecken benutzen. Naturgemäß kann sie aber in ausgedehntem Maße nur Anwendung finden, wenn die Herstellung der Terracotten so gesteigert ist, daß diese gängige Handelswaare werden, da das Anfertigen in kleiner Zahl zu theuer werden würde. Auch dann wird der Preis vergleichsweise hoch bleiben.

Die Fachfüllung kann eben sowohl Estriche, wie auch hölzerne Fußböden auf Lagerbohlen aufnehmen; das Anbringen der letzteren bedingt dann das Einsetzen einzelner Holzdübel in die Stoßfugen der Terracotten mittels Cement.

Fig. 121.



Einige Beispiele von derartigen amerikanischen Ausführungen zeigen Fig. 121, 122, 123 u. 124⁹⁴⁾. Diese Constructionen haben sämmtlich die Gestalt von scheinbaren Bogen aus hohlen Terracotta-Kasten und besitzen

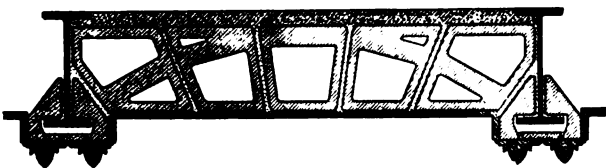
große Tragfähigkeit. Ein besonderer Werth wird hier, im Gegensatz zu den französischen Anordnungen, darauf gelegt, die Träger auch mit dem Unterflansch dem Feuer zu entziehen. Eine derartige Anordnung mit gebrannten Thonfliesen wurde schon in Art. 57 (S. 60) und eine solche für Vollsteine in Art. 61 (S. 63) vorgeführt; in Fig. 121 u. 124 umgreifen die Hohlsteine den unteren Trägerflansch — wie in Fig. 125 (rechter Träger links) die Vollsteine — vollständig, so

Fig. 122.



daß durch die unter dem Träger liegenden Lufträume ein besonders wirkfamer Schutz entsteht. Die Fugen sind in Fig. 121 durch rechteckige Nuthen in den Lagerflächen der Hohlsteine, in welche der Mörtel federartig eingreift, besonders gesichert.

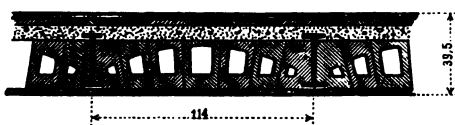
Fig. 123.



In Fig. 122 ist der Schutz der Träger bei fehlendem Luftraum weniger wirkfamer durch unmittelbar unter den Flansch gelegte

Thonplatten erzielt, welche, zuerst verlegt, schwalbenschwanzartig von den Rändern der Hohlsteine umfaßt werden. Die Hohlsteine sind unten für die Aufnahme des Putzes schwalbenschwanzförmig genuthet.

Fig. 124.



In Fig. 123 ist gleichfalls eine keilförmige Thonplatte unter die Träger gesetzt, aber so tief, daß ein Luftraum darüber bleibt und ein sehr wirkfamer Schutz des Trägers durch Putzplatte und Hohlraum erzielt wird. Die

⁹⁴⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 32; 1887, S. 435, 451. — *American engineer*, Bd. 13 (1887), S. 230. — *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 368.

Form der Terracotta-Kasten ist hier so gewählt, daß aus dem besonders kräftigen Schrägstege der Seitenstücke und der Oberseite des Schlusstückes beim Zusammenfügen ein sehr wirksamer Bogen entsteht.

Der Schutz der Eisenträger durch feuerichere Umhüllung ist, wie sich bei einer Reihe von Bränden gezeigt hat, äußerst wichtig.

Fig. 125.

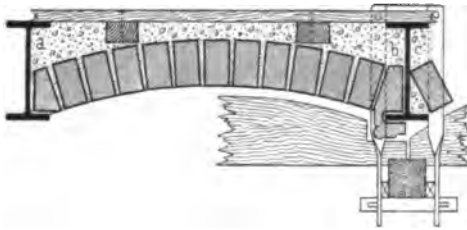
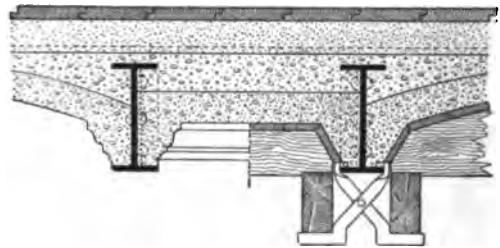


Fig. 126.



Was die Ausführung dieser Decken anlangt, so wird zwischen die 0,75 bis 2,00 m weit gelegten Träger eine der Gestalt der Fachfüllung entsprechende Hängerüstung nach Fig. 125, 126, 127 oder 128 eingebracht, welche nach dem Erhärten der Einwölbung leicht wieder zu beseitigen ist und wo möglich der Unterstützung von unten nicht bedarf.

Fig. 127.

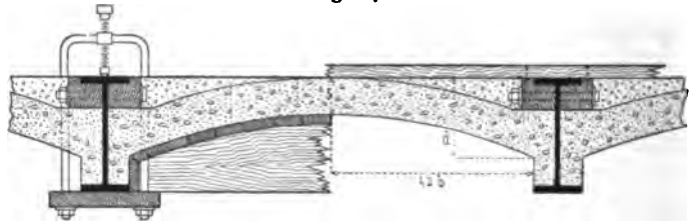
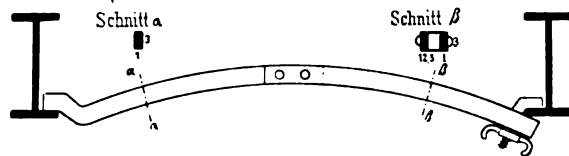


Fig. 128.



Die Preise dieser vorzüglichen Decken-Constructionen sind leider hoch; für Philadelphia wird der Preis der in Fig. 124 dargestellten Decke von 39,5 cm Dicke mit 25,4 cm hohen I-Balken in 114 cm Theilung, einschl. Fußboden und Deckenputz, zu 36,8 Mark für 1 qm angegeben.

b) Ausfüllung der Trägerfäche mit künstlichen Steinplatten.

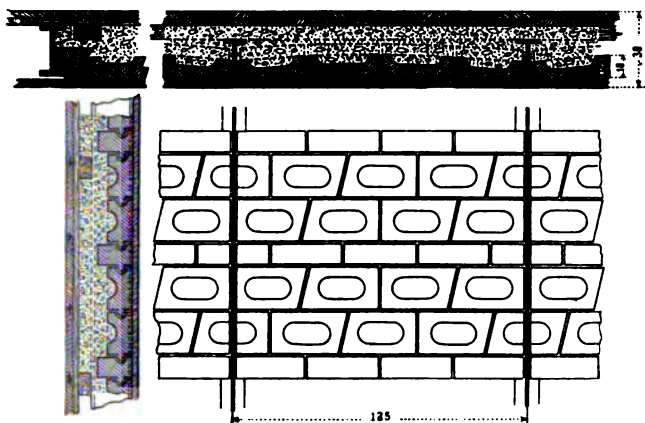
Hierher gehört zunächst die Aussetzung der Trägerfläche mit Doppelkeilziegeln nach *Schneider* in Wien, in Fig. 129⁹⁵⁾ in zwei verschiedenen Anordnungen dargestellt. Möglichste Leichtigkeit ist angestrebt dadurch, daß man die plattenartigen, nur etwa 10 cm dicken Ziegel von oben her topfartig aushöhlt. Die Stücke greifen mit schräg gefchnittenem Falze oder mit Halbkreisnuth und Feder allseitig in einander, wobei für das Aufsetzen auf die Trägerflansche entweder besondere Formstücke verwendet oder gewöhnliche Stücke ausgeklinkt werden.

Der Pfeil wird so flach — mit $\frac{1}{16}$ bis $\frac{1}{150}$ Pfeilverhältniß — gewählt, daß die Anordnung einem scheinbaren Bogen nahe kommt und somit unmittelbares Putzen der Decke auf der rauhen Steinunterfläche gestattet. Um aber die Tragfähigkeit zu erhöhen, werden in gewissen Abständen, in Fig. 129 hinter je zwei Topffreien, stärkere Rippen aus hochkantig stehenden vollen Stücken eingesetzt, welche mit den flachen Theilen auch durch Falzung oder Nuth und Feder in Verbindung stehen.

63.
Schneider's
Decken-
Construction.

⁹⁵⁾ Siehe: *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 129. — *Deutsche Bauz.* 1889, S. 542.

Fig. 129.



Das Gewicht der Ziegel beträgt für 1 qm etwa 230 kg; die Kosten sind 6,25 Mark.

Die in Wien vorgeschriebene Belastungsprobe der Wohnräume mit 400 kg für 1 qm hält die Decke ohne erkennbare Formänderung aus. Abgesehen von der wagrechten Verbindung der Schichten unter einander ist diese Fachfüllung einem schwachen schiefechten Bogen aus Vollsteinen wohl nicht überlegen.

Auch einige der *Stolz*-schen Vorschläge für feuer-
sichere Decken⁹⁶⁾ mit eisernen Balken sind hier anzuführen,

64.
Vorschläge
von
Stolz.

nämlich die in Fig. 130 u. 131 dargestellten. In Fig. 130 sind die Balken oben gegen den Unterzugträger gefetzt, so daß dieser nach unten vortritt und mittels eines rechteckigen Kastens von *Rabitz*- oder *Monier*-Masse mit Aschenfüllung eingehüllt werden mußte. Dieser

Vorsprung entspricht wegen der Bildung von hohlen Ecken den in Art. 56 (S. 58) entwickelten Grundsätzen nicht ganz; doch wird die Feuer-
sicherheit nicht wesentlich beeinträchtigt, weil selbst

Fig. 130.

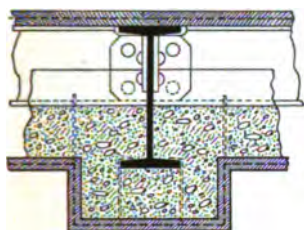
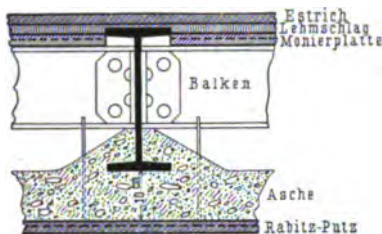


Fig. 131.



sehr hohe Hitzegrade die Träger nicht in gefährlichem Maße erwärmen können. Die Decke wird bei dieser Anordnung übrigens vergleichsweise dünn. Will man trotz des Vorragens des Unterzuges eine ebene Unterfläche haben, so muß man den die Asche tragenden Putz entsprechend tief hängen (Fig. 131), also die ganze Decke dicker machen.

Um die Träger auch von oben zu decken, ist zunächst eine Lage von *Monier*-Tafeln aufgelegt, welche in Fig. 130, 5 cm dick Träger und Unterzug deckend, zugleich den Fußboden bildet und so nur mäßigen Schutz gewährt.

Um ebene Lagerung zu ermöglichen, mußte den Balken im Anschlusse der obere Flansch genommen werden. In Fig. 131 liegt die Balkenoberkante so weit unter der Oberkante des Unterzuges, daß diese etwa bündig mit den *Monier*-Platten bleibt; über das Ganze ist dann ein dünner Lehmschlag gebreitet, der einen Estrich aufnimmt. Diese Anordnung giebt einen wirksameren Feuer-
schutz nach oben, als die in Fig. 130.

Eine sehr gute Fachauffüllung wird nach Patent *Wayss*⁹⁷⁾ mit *Mack's* Gypsdien (vergl. Art. 37, S. 46 u. Art. 47, S. 54), wie in Fig. 132 gezeigt ist, hergestellt.

65.
Decke
mit
Gypsdien.

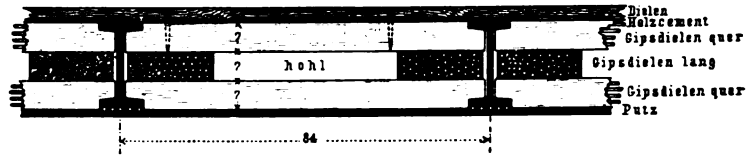
Auf die Unterflansche wird eine Lage von Gypsdien quer gelegt, nachdem sie an den Kanten so ausgenutzt sind, daß die Unterfläche mit der der Träger bündig wird; hierauf werden entlang den Trägern je zwei Reihen Gypsdien längs gelegt und darauf wieder eine Lage in der Querrichtung. Die

⁹⁶⁾ Siehe Art. 56 (S. 58) und: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

⁹⁷⁾ Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 65.

Dicke wird so bemessen, daß die oberste Lage wieder bündig mit den Trägern liegt. Man kann nun oben den etwa notwendigen Fußboden unmittelbar auf die Gypsdiele schrauben, nachdem alle Fugen sorgfältig mit Gyps gedichtet sind, und die rauhe Unterfläche kann unmittelbar geputzt werden.

Fig. 132.



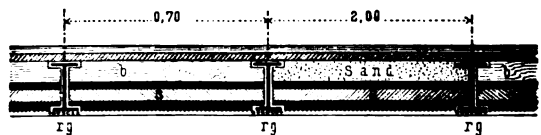
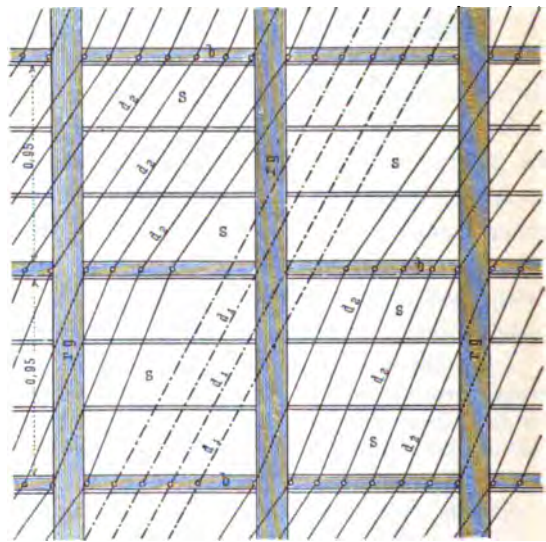
Diese Decke ist sehr dicht für Wärme und Schall, reichlich tragfähig für die gewöhnlichen Lasten und vergleichsweise sehr leicht; sie nimmt wenig Höhe in Anspruch und besitzt auch einige Widerstandsfähigkeit gegen Feuer, da die Gypsdiele selbst nach Zerfallen des Gypses in der Hitze noch einigen Zusammenhalt bewahren. Sorgfalt bedingt hier die Unterputzung der Trägerflansche, welche sich leicht durch Risse auszeichnet; in Fig. 132 ist angenommen, daß der Putz durch unter die Träger gespannte Rohrgewebe gehalten wird.

Die Gefahren mangelhafter Füllstoffe entfallen; Gerüste zum Einbringen sind nicht erforderlich; Feuchtigkeit ist ausgeschlossen; die Dichtigkeit gegen größere Wassermengen ist namentlich dann vollkommen, wenn die oberste Lage mit Cement eingedichtet wird; eingeschlossene Holztheile sind nicht vorhanden. Auch die unmittelbare Auftragung eines Estrichs ist möglich.

Der Preis der in Fig. 132 dargestellten, für 6m Weite berechneten Decke ist 17,8 Mark für 1 qm, wobei aber in das Gewicht fällt, daß die geringe Dicke Ersparungen in den Wänden ergibt.

Die Belastungsproben ergaben bei einer Auflast von 4250 kg für 1 qm keinerlei erkennbare Wirkung. Ein Gewicht von 55 kg, aus 2m Höhe fallend, erzeugte oben einen 5 mm tiefen Eindruck und kleine Risse an der Unterseite der oberen Dielenlage; ähnliche Erfolge erzielte ein aus der Höhe von 3m fallendes Gewicht von 25 kg. Die Deckenfläche ist hier also ganz besonders gut gegen Verletzungen von oben her geschützt.

Fig. 133.



66.
Decke
mit
Spreutafeln.

Schließlich ist hier die Decke aus Eisenträgern mit *Katz's Spreutafeln* (vergl. Art. 37, S. 46 und Art. 48, S. 54⁹⁸⁾ zu erwähnen, welche, nach dem Vorgange in Fig. 72 (S. 47) ausgebildet, in Fig. 133 dargestellt ist.

Um hier die Drähte, welche das Auflager der Spreutafeln bilden, anbringen zu können, sind zunächst Holzbohlen *b* zwischen die Träger eingesetzt, welche die Riegel für die gerade oder im Zickzack in 10 cm Theilung gespannten verzinkten Drähte *d*₁ und *d*₂ aufnehmen. Unter die Bohlen, wie unter die Träger sind dann durch Streifen Dachpappe von den Holz- und Eisenflächen geforderte, schmale Rohrgewebe *rg* gespannt, die Spreutafeln *s* dann verlegt und mit Gyps gedichtet, auf der rauhen Unterseite unmittelbar unterputzt und mit Füllung bedeckt. Die Bohlenstücke *b* dienen erforderlichenfalls oben zugleich zur Befestigung der Fußbodenbretter, welche also

⁹⁸⁾ Siehe auch Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 172, S. 196) dieses „Handbuchs“.

den Eisenbalken entlang laufen. In Fig. 133 ist auf einem solchen Blindboden dann ein Stab- oder Parquetboden angedeutet.

Da hierfür volles Auflager des Fußbodens auf die Füllung mit ihren Gefahren nothwendig ist, eingeschlossene Holztheile nicht umgangen werden können, das Gewicht auch nicht unbeträchtlich größer ist, so ist diese Deckenanordnung, obwohl sie sonst ähnliche Vorzüge besitzt, doch nicht als so vollkommen zu bezeichnen, wie die vorige. Was die Sicherheit der Deckenfläche anlangt, so waren einige Arbeiter nicht im Stande, dem Deckenputze durch Hüpfen auf den unabgedeckten Spreu- tafeln sichtbare Verletzungen beizubringen. Uebrigens lieferten Belastungsversuche ähnliche Ergebnisse, wie die in Art. 37 (S. 47) angegebenen.

c) Ausfüllung der Trägerfache mit Beton.

Von ganz besonderer Wichtigkeit sind die in den letzten Jahren immer mehr verwendeten Decken aus Eisenbalken mit Betonausfüllung, unter welchen gewölbte und gerade Betondecken zu unterscheiden sind.

Bezüglich der zu verwendenden Betonmischungen vergleiche man Theil I, Band 1, erste Hälfte, wo auch die Bruchfestigkeiten verschiedener Mischungen angegeben sind. Als besonderer Baustoff ist jedoch noch der Schlacken-Beton, aus Kohlschlacken und Cement- oder Kalkmörtel bestehend, anzuführen.

Die Firma *Odorico* in Frankfurt a. M. verwendet Schlacken-Beton aus 1 Theil Cement, 3 Theilen Sand und 7 Theilen Schlacken⁹⁹⁾ von Tauben- bis Hühnereigröße. Bei versuchsweiser Verwendung am Bau des Krankenhauses zu Karlsruhe wurde 1 Theil Cement mit 6 Theilen Schlacken und etwas Sand¹⁰⁰⁾ gemischt. Zu Ueberfüllungen von Tragbogen oder Platten aus Beton wird häufig, der Leichtigkeit halber, eine Mischung von 1 Theil Weißkalk mit 8 bis 10 Theilen Schlacke verwendet, welche einen ziemlich hohen Grad von Zusammenhalt erreicht.

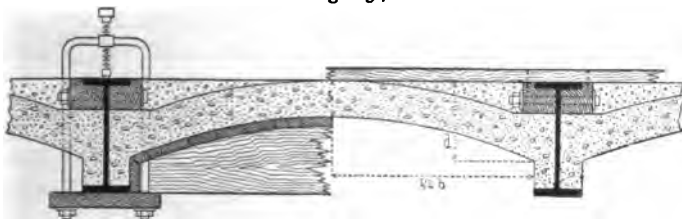
Die Zugfestigkeit des Schlacken-Betons beträgt etwa das 0,7-fache¹⁰⁰⁾ derjenigen von Kies-Beton, während das Gewicht nur knapp 0,5-fach so groß ist.

1) Gewölbte Betondecken. (Betonkappen.)

Den Pfeil der gewölbten Betondecken kann man sehr flach halten, da nach Ausweis in Kap. 6 selbst bei starken Lasten und geringem Pfeile die Stärke des Bogens noch so gering wird, daß die Verwendung von Steinschlag-Beton wegen der unvermeidlichen Löcher hier häufig ausgeschlossen erscheint und man meist Kies- oder Schlacken-Beton verwenden muß. Der flache Pfeil und die geringe Stärke kommen der Erleichterung der an sich schweren Decke zu gute; um diese

Vorteile thunlichst auszunutzen, legt man den äußeren Bogen Scheitel in der Regel gleich hoch mit Trägeroberkante und füllt dann den unter dem Kämpfer verbleibenden Raum bis zum unteren Flansch

Fig. 134.



⁹⁹⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 46.

¹⁰⁰⁾ Siehe ebendaf., S. 7.

67.
Steinschlag-,
Kies-
u. Schlacken-
Beton.

68.
Beton-
mischung.

gleichfalls mit Beton aus (Fig. 134 u. 135) oder umhüllt den Balken unten noch vollständig mit Beton (Fig. 136).

Gewöhnlich enthält der gegrabene oder gebaggerte Kies an sich erhebliche Sandbeimengungen; solche Kiesarten werden meist im Verhältnisse von 5 Theilen Kies auf 1 Theil Portland-Cement gemischt. Bei sorgfältigerer Bereitung aus reinem Kies und Cementmörtel kann man jedoch gleich gute Erfolge mit mageren Mischungen erzielen.

So sind die Gewölbe von schweizerischen Betonbrücken¹⁰¹⁾ nach dem Verhältnisse 1 Cement, 2 Sand und 4 Kies gemischt, die Flügel nach 1 : 2 : 6, die Widerlager sogar nach 1 : 3 : 7¹⁰²⁾.

Die Herstellung erfolgt, indem man auf Hängerüstungen (Fig. 125, 128, 134 u. 135) oder unterstützter Einrüstung (Fig. 136 u. 137) unterhalb der Träger eine volle Schalung auf Bretterbogen herstellt und auf dieser den Beton in dünnen Lagen fest einstampft. Man beginnt hierauf mit der Füllung an den Trägern und schließt sie allmählich nach dem Scheitel ab. Dabei ist die angegebene Mischung durchweg nur in der Stärke des Scheitels einzubringen; die Zwickel an den Trägern können, wie in Fig. 134 angedeutet ist, mit einer mageren Füllmischung, etwa magerem Schlacken-Beton, ausgefüllt werden, welche nur eben genügend abbindet, um keine Schübe zu äußern, und dabei möglichst leicht ist. Diese Ausfüllung wird mit oder oberhalb der Trägeroberkante abgeglichen und nimmt erforderlichenfalls nach Fig. 138, 139 u. 140 für die Befestigung hölzerner Fußböden etwas schwalbenschwanzförmig geschnittene Lagerbohlen auf, auf welchen die Bretter später vernagelt werden. In Fig. 134 sind die Lager an die Träger gebolzt; doch können die Bolzen in weiter Theilung sitzen, bei guter Ueberfüllung auch ganz fehlen. Um ein Quellen der Lagerhölzer in Folge Eindringens der Feuchtigkeit aus dem frischen Beton zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Lagerhölzer vorher zu theeren oder mit Dachpappe zu umhüllen.

Bei nordamerikanischen Bauten hat man die Zwickelausfüllung dadurch leichter gemacht, daß man beim Einstampfen einige Zinkrohre mit offener Naht und verschiedenem Durchmesser je nach Gestalt der Zwickel in diese einlegte¹⁰³⁾. Die Rohre

Fig. 135.

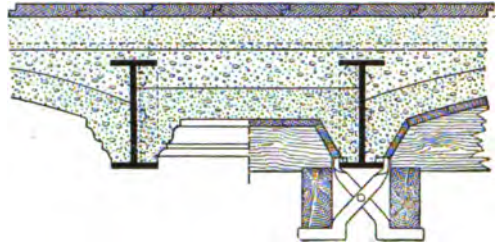


Fig. 136.

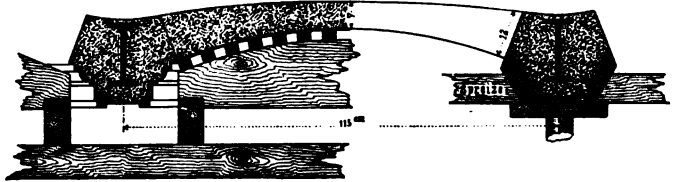


Fig. 137.

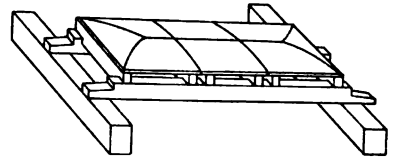
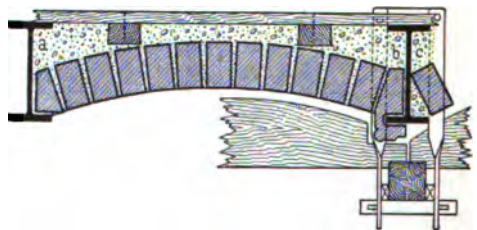


Fig. 138.



¹⁰¹⁾ Siehe: Schweiz. Bauz., Bd. 4 (1884), S. 136.

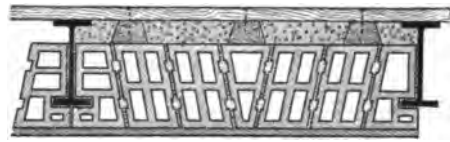
¹⁰²⁾ Ueber Versuche mit Betonkappen und Steinkappen siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 159.

¹⁰³⁾ Siehe: Annales des travaux publics, Bd. 9 (1888), S. 2118.

Fig. 139.



Fig. 140.



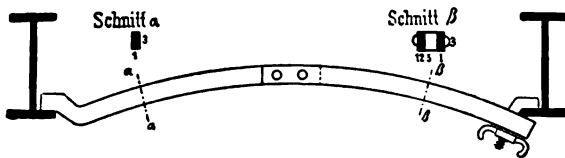
wurden im Inneren gegen den Aufsendruck in folcher Weise verspreizt, daß man diese Auspreizung vom freien Rohrende aus leicht auslösen und herausziehen, dann den Rohrdurchmesser durch weiteres Aufwickeln verringern, also das Rohr herausziehen konnte. Die Rohre sind hiernach für weitere vorzuzustreckende Kappentheile immer wieder verwendbar. Auf diese Weise ist, namentlich bei großen Kappen und starken Bogenpfeilen, eine sehr erhebliche Erleichterung zu erzielen.

Die Hängerüstungen, welche die Aufstellung eines Stielgerüsts unter der Decke (Fig. 136) ersparen, können in verschiedenster Weise angeordnet sein. Fig. 134 u. 138 zeigen über die Träger greifende Eisenbügel aus Flach- oder Rundeisen, welche in Fig. 138 Lagerhölzer und in Fig. 134 Lagerbohlen für die Aufstellung der Lehrbogen tragen und nach Fertigstellung der Kappen nach unten (Fig. 138), bzw. nach oben (Fig. 134) herausgezogen werden; die bleibenden Löcher sind zu verputzen.

Die Rüstschere von K. Michael in Zwickau (Fig. 135¹⁰⁴) vermeidet die Löcher im Beton, da sie sich nur auf die untere Gurtung legt, und erleichtert das Ausrüsten erheblich. Sie ist besonders für das

Einwölben von Steinkappen zu empfehlen, da bei diesen das Hinaufführen der Bügel über die Träger unbequem ist.

Fig. 141.



Die Rüstung von Spaniol in Schiffweiler (Fig. 141¹⁰⁴) ist einfach, da sie Hängerüstung und Bogen in einen Körper aus schwachem Bandeisen vereinigt. Der Eisenbügel ist am einen Ende einfach, am anderen doppelt, an ersterem zur Lagerung auf die

untere Gurtung gekrümmt und am anderen mittels Flügelschraube im doppelten Flacheisen leicht zu befestigen. Da die Flügelschraube im Schlitz gleiten kann, so sind nicht allzu sehr verschiedene Weiten mit demselben Bügel einzurüsten. Die Eisenbügel nehmen unmittelbar die Schallatten auf. Selbstverständlich können diese Bügel auch so geformt werden, daß sie für vertiefte Felder, wie in Fig. 138 u. 134 passen¹⁰⁵).

Die Ausrüstung erfolgt bei den angegebenen Mischungen frühestens nach 10 Tagen; während dieser Zeit ist im heißen Sommer dauernde Feuchthaltung der Füllung durch leichtes Begießen, wenn möglich auch Bedecken mit einer feuchten Sandschicht zu empfehlen. Noch einige Zeit nach der Ausrüstung soll die Wölbung keinen schweren Lasten, namentlich keinen Stößen ausgesetzt werden; selbst für den Verkehr der Arbeiter lege man Laufbretter auf die Decke.

Im Nachstehenden seien einige Beispiele von neueren ausgeführten Betonkappen vorgeführt.

α) Eine ganz besonders starke Anordnung dieser Art zeigt Fig. 135 aus einem neuen Schulhause zu Mainz¹⁰⁶. Hier sind die Träger paarweise zusammengelegt, was sich für die Aufnahme der Schübe der Kappen als zweckmäßig erweisen kann (vergl. Kap. 6); in die engen Fache ist eine gerade, in die weiten eine gewölbte Betondecke gelegt, welche dann eine bis über die Träger reichende Zwickel-

70.
Beispiele
ausgeführter
Betonkappen.

¹⁰⁴) Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 597.

¹⁰⁵) Vergl. sonst auch *Rilling* (D. R.-P. Nr. 3970), für verschiedene Weiten und Pfeile, auch für ebene Platten unverändert verwendbar; so wie: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 232.

¹⁰⁶) Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 3.

füllung trägt. Diese ist dann wieder mit gewöhnlicher Bettung zur Aufnahme der Fußbodenlager überdeckt. Um Gewicht und Kosten dieser außergewöhnlich starken Decke thunlichst herabzumindern, ist die Zwickelfüllung in magerem Schlacken-Beton, aus leichten porösen Schlacken mit Weiskalk ausgeführt, welcher für 1 cbm fertig 6 Mark kostete.

β) Im Gerichtshause zu Frankfurt a. M.¹⁰⁷⁾ sind feuerichere Betondecken nach Fig. 142, 143, 144 u. 145 als abgewalmte Tonnen-Cassetten von den beiden Unternehmern *Löhr* und *Odorico* nach verschiedenen Verfahren ausgeführt, indem jedes Feld eines rechtwinkligen Rostes aus Balken und Zwischenträgern mittels einer Kappe aus Beton von 8 Theilen Kiesand, 1 Theil Cement und $\frac{1}{4}$ Theil Kalk gedeckt wurde.

Die Ausführung der ziemlich umfangreichen Arbeiten nach *Löhr* ist in Fig. 142, 143 u. 144 dargestellt. Zunächst wurden hölzerne Kasten aus zwei Seitentheilen und einer Bodenbohle unter den Trägern so zusammengesetzt, wie Fig. 142 rechts im Querschnitt, 143 im Grundriß zeigt. Die Seitenwände der Kasten bildeten nach Fig. 143 verstreute, rechtwinkelige Eckstücke, zwischen welche keilförmig abgeschnittene Mittelstücke eingetrieben wurden, um einerseits verschiedene Längen der Felder mit denselben Theilen einrücken, andererseits das durch die Feuchtigkeit etwas quellende Holz leichter ausrücken zu können. Innen waren die Kasten mit genau nach dem verlangten Querschnitt der Trägerhülle geformtem Zinkblech ausgeschlagen, das vor jeder Benutzung etwas gefettet wurde, damit der Cement nicht anbinden konnte. Diese Kasten wurden zuerst mit einer dünnen Lage Cement genau ausgestrichen, um scharfe Kanten und ebene Flächen zu erhalten, und in diese Masse wurde der Beton, von unten nach oben magerer und grober werdend, um die Träger herum, unter genauem Abgleichen der Kämpferflächen für die Kappen, eingestampft. Nach Abbinden dieses Körpers setzte man die in Fig. 144 dargestellte Kappenrüstung auf entsprechende Lagerhölzer in das Feld ein. Die Außenfläche auch dieser bestand aus gefettetem Zinkblech auf ganz dünner Lattung (Fig. 142 links); hierauf wurden auch die Kappen innen fetter, außen magerer und grober eingestampft. Nach der Ausrüstung wurden die Nähte nachgefügt und mit dem Messer gefäubert.

Die Beschaffungskosten dieser Einrüstung betrugen 15 Mark für 1 qm, wurden aber durch die Wiederverwendung schließlich sehr gering.

Die Firma *Odorico* verwendete dagegen die in Fig. 145 dargestellte, aus Eisenblech und Gufseisenleisten durch Verschraubung für die Trägerhülle und die Kappenlaibung gemeinsam hergestellte Einrüstung auf Stielen und Bohlen unter den Trägern, in welche der gesammte Beton für beide Theile unten fett, oben magerer und grober auf einmal eingestampft wurde. Damit die Arbeiter auf den Blechböden verkehren konnten, ohne diese zu verdrücken, waren noch Rundeisen-Schrägleisten eingeschraubt. Die Beschaffungskosten dieser Einrüstung betrugen 45 Mark für 1 qm.

Die Kosten der Decke ohne Träger, Einrüstung und Fußboden betrugen durchschnittlich 6,5 Mark für 1 qm.

Bei der Probelastung riefen 3000 kg auf 1 qm noch keine erkennbare Veränderung des Gefüges hervor. Ein 2,5 m hoch fallendes Gewicht von 25 kg schlug ein rundes Loch in die Kappe, ohne diese sonst zu verletzen.

Die sämtlichen zu malenden Innenflächen von Cementkörpern wurden mit kohlenfaurem Am-

Fig. 142.

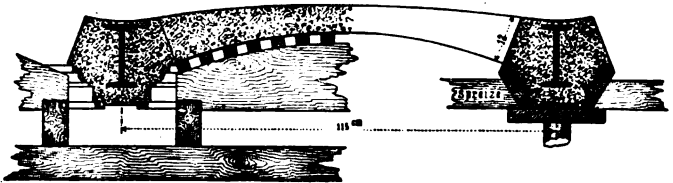


Fig. 143.

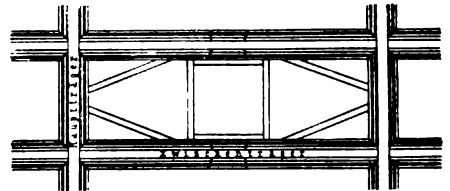


Fig. 144.

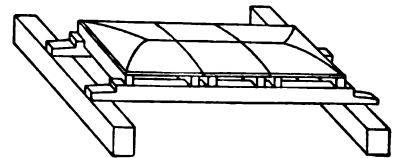
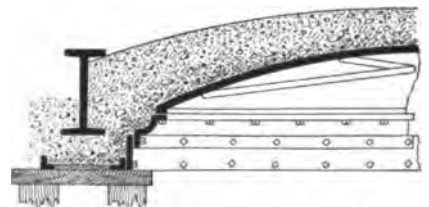


Fig. 145.

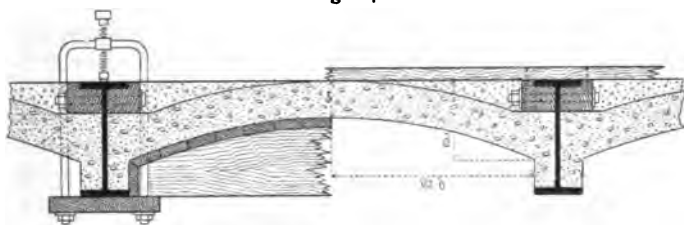


¹⁰⁷⁾ Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 274.

moniak übergestrichen, um als Grundlage für die durch frischen Cement gefährdete Bemalung eine dünne Schicht kohlenfauren Kalkes zu erzielen.

γ) Bei Erweiterung des Bahnhofes zu Erfurt¹⁰⁸⁾ wurden Betonkappen in einer Ausdehnung von 3400 qm aus 1 Theil Cement und 8 Theilen ziemlich sandfreiem Kies mit 1,5 cm bis 2,0 cm Cement-Estrich der Mischung 1 Theil Cement und 2 Theilen Sand ausgeführt. Die Kappen hatten bei $\frac{1}{10}$ Pfeilverhältniss 11 cm Stärke und wurden dann nach Fig. 146 bis auf die unteren Trägerflansche hinab-

Fig. 146.



geführt, welche unten sichtbar blieben. Die Kappen hatten zum Theile unmittelbar nach der Herstellung eine Kälte von 6 Grad R. auszuhalten, erwiesen sich aber als dadurch nicht beschädigt und trugen, 14 Tage alt, 2850 kg auf 1 qm unter ziemlich schweren Hackenschlägen, ohne eine Veränderung zu zeigen; dagegen

brach eine versuchsweise hergestellte ebene Betonplatte von gleicher Stärke schon unter geringer Last.

Bezüglich der gelegentlich dieser Ausführung verhandelten Frage, ob so flache Kappen in Folge Treibens des Betons Schub äußern oder als Platten wirken, giebt *Schumann* in Amöneburg an, daß unter Wasser zwar $\frac{1}{4}$ Jahr lang starkes Treiben stattfindet, welches erst nach 2 Jahren aufhört; auf 1 m Länge sind Ausdehnungen beobachtet: nach $\frac{1}{4}$ Jahr um 0,2 mm, nach $\frac{1}{2}$ Jahr um 0,22 mm, nach 1 Jahr um 0,27 mm, nach 2 Jahren um 0,3 mm. Natürliche Bausteine dehnen sich oft nach der Verwendung mehr aus. Diese Maße genügen nicht, um das Auftreten erheblicher Schübe abzuleiten. Nun ist es aber fogar wahrscheinlich, daß sich die trocken erhärtenden Kappen zusammenziehen, worauf die Schwindrisse und der Umstand hindeuten, daß Probewürfel aus 1 Theil Cement und 3 Theilen Sand bei 10 cm Seitenlänge 1 Woche unter Wasser und 3 Wochen trocken erhärtet 0,042 mm Seitenverkürzung ergaben.

Es wäre aber gefährlich, auf Grund dieser Beobachtungen anzunehmen, daß die flachen Kappen überhaupt nicht schieben, und dann die Träger nur auf die lothrechten Lasten zu berechnen; denn die Plattenkörper brechen jedenfalls leichter, als die Kappen, und wenn nun eine als Kappe berechnete Fachfüllung zunächst auch wirklich als Platte wirkte, so würde sie dadurch Spannungen erleiden, die über die berechneten erheblich hinausgehen. Sollten in Folge davon feine Risse entstehen, so ist die Plattenwirkung jedenfalls aufgehoben, und die Gewölbewirkung beginnt nun unter ganz geringem Verkanten der Theile. Es ist daher nöthig, den Kappenschub gleich in die Trägerberechnung einzuführen.

δ) Bei Erbauung des Krankenhauses zu Karlsruhe¹⁰⁹⁾ wurden drei Arten von Fachfüllungen in Betracht gezogen: ebene Betonplatten, Kappen aus Beton und Kappen aus Schlacken-Beton. Die erste Anordnung wurde aufgegeben, weil die Platten an sich dick werden und viel Füllung verlangen, also im Ganzen schwer werden. Bei den Kappen erzielt man zwar etwas vergrößerte Tragfähigkeit, wenn man dieselben mit den Zwickeln als einen Körper bildet; aber diese Anordnung wird schwerer und theurer, als möglichst dünne Tragbogen mit magerer leichter Ueberfüllung. Bezüglich dieser Anordnung wurde dann für die 1,3 bis 1,5 m weiten Felder ein Vergleich eines Tragbogens mit $\frac{1}{10}$ Pfeilverhältniss aus 1 Theil Cement, 2 Theilen Sand und 4 Theilen Kies nebst Ueberfüllung aus 8 Theilen Schlacken mit 1 Theil Weiskalk mit einem Bogen nebst Zwickeln aus 1 Theil Cement und 6 Theilen Schlacken mit etwas Sand angestellt. Der Schlacken-Beton befand die 0,7-fache Zugfestigkeit des Kies-Betons; machte man letzteren also 10 cm stark, so mußte der Schlacken-Beton 14 cm dick sein. Die Decke aus Schlacken-Beton würde dann auf 1 qm 80 kg leichter, als die aus Kies-Beton, aber nicht billiger. Da man außerdem den Gehalt der Schlacken an Schwefelverbindungen fürchtete, so erschienen die mit Schlacken-Beton zu erzielenden Vortheile nicht durchschlagend, und man wählte den Kies-Betonbogen, theerte aber die oberen Trägertheile, um sie einer etwaigen ungünstigen Einwirkung des Schwefels in den Schlacken der Ueberfüllung zu entziehen. Nach oben wurden die Bogenkämpfer bis unter den oberen Trägerflansch hinaufgezogen, um eine Art von Einspannung zu erzielen.

Es entstand so die in Fig. 147 dargestellte Anordnung, auf deren Ueberfüllung ein Parquet-Fußboden in Asphalt verlegt und welche von unten her abgeputzt wurde. Die Trägerflansche blieben auch hier unten sichtbar. Die Träger erleiden hier bei 660 kg für 1 qm Gesamtlast der Decke für 1 qm 1000 kg

¹⁰⁸⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1889, S. 491.

¹⁰⁹⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 7.

Spannung. Die Kosten beliefen sich auf 15,0 Mark für 1 fertiges Quadr.-Meter, während der Anschlag für Holzbalken mit Gypsdiele, Füllung, Parquet auf Blindboden und Deckenputz etwa nach Fig. 71 (S. 46), unter Ersatz der dort gezeichneten Spreutafeln durch Gypsdiele, 13,4 Mark für 1 qm und wegen der geringeren Last etwas weniger Mauerwerk ergab. Der Unterschied erschien nicht groß genug, um die gewählte, jedenfalls sicherere Anordnung aufzugeben.

e) Günstige Erfahrungen mit Schlacken-Beton giebt die Firma *Odorico* zu Frankfurt a. M. an ¹¹⁰⁾. Kappen von 2 m Weite aus 1 Theil Cement, 3 Theilen Sand und 7 Theilen Schlacken von Tauben- bis Hühnereigröße ertrugen bei 12 cm Scheitelfärke und 15 cm Kämpferstärke im Alter von 4 Wochen nach einander für 1 qm 1000 kg voller, 2600 kg einseitiger und 2880 kg Belastung der mittleren Hälfte, ohne daß sich irgend welche Veränderungen gezeigt hätten. Die Kämpfer der Kappen waren mit Hilfe paarweiser Anordnung der Balken (siehe Art. 61 [S. 65], so wie Fig. 108 [S. 65], 109 [S. 66]) kräftig unterstützt.

γ) Eine eigenartige, hierher gehörende nordamerikanische Construction ¹¹¹⁾, welche dem Grundgedanken nach Ähnlichkeit mit den Platten von *Rabitz* und *Monier* besitzt, zeigt Fig. 148. Der

Fig. 147.

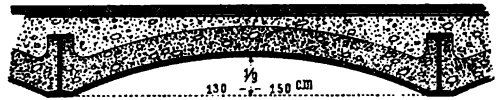
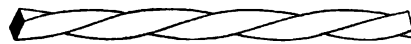


Fig. 148.



Fig. 149.



einzudeckende Raum wird mit einer Schaar von gedrehten Quadrateisen (Fig. 149) geringer Stärke überdeckt, welche dann in untere Ansätze einer zwischen den Stäben etwas gewölbten Betonplatte eingestampft werden. Das Drehen hat den Zweck, die Haftfestigkeit des Eisens im Beton zu erhöhen. Die Schaar der Quadrateisen bildet gewissermaßen die Zuggurtung des plattenförmigen Deckenträgers, dessen Druckgurtung der obere volle Betonkörper darstellt. Eiserne Träger sind hier also ganz vermieden. Unter stoßweise wirkenden Lasten und für große Spannweiten dürfte die Anordnung bei der nie ganz zu überwindenden Unzuverlässigkeit des Betons unter Zug- und Scherbeanspruchung ihre Bedenken haben.

Will man bei gewölbter Fachfüllung unten ebenen Abschluß haben, so kann man *Rabitz*- oder *Monier*-Putz mit Eisenbügeln unter die Trägerflansche hängen oder in den Beton auf den Trägerflanschen Holzklötze zum Befestigen der Ver Schalung für eine gerohrte und geputzte Decke einsetzen. Es lassen sich jedoch auch die gewölbten Fachfüllungen ganz gefällig ausstatten, wie dies z. B. im Dienstgebäude der Provinzial-Steuerdirection zu Berlin, Alt-Moabit, mittels untergelegter gekrümmter Stuckplatten mit erhabenen, gegoffenen Verzierungen geschehen ist.

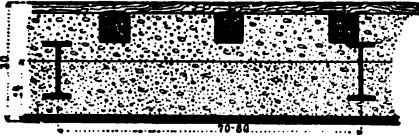
2) Gerade Betondecken.

Bei den Füllungen gerader Betondecken ruht ein im Querschnitte rechteckiger Betonkörper auf dem unteren Balkenflansch, wie in Fig. 150 bis 153, überträgt daher keinerlei Schub auf die Träger, muß aber bei plattenartiger Wirkung bezüglich der Lastübertragung größere Stärke erhalten, weil der Widerstand der Betonplatten gegen vorwiegende Biegung weniger zuverlässig ist, als gegen vorwiegenden Druck (vergl. Art. 70, S. 79, unter γ). Hierdurch werden die Decken beträchtlich schwerer und der Vortheil der geringeren Beanspruchung der Träger geht zum Theile wieder verloren. Füllt man die Trägerhöhe mit einer Betonplatte aus, so wird die Decke bei der guten Schallübertragung durch eine dichte Platte und dem Fehlen der Hohlräume meist nicht so schalldicht werden, wie die schwächere, in den Zwickeln anderweitig überdeckte Betonkappe.

¹¹⁰⁾ In: Deutsche Bauz. 1890, S. 46.

¹¹¹⁾ Siehe: *Nouv. annales de la constr.* 1887, S. 29.

Fig. 150.



eine etwa 11 cm starke Lage von Schlacken-Beton, welche die Schalldichtigkeit erhöht und die Lagerhölzer aufnimmt. Die Unterfläche konnte hier auf dem Beton geputzt werden.

Fig. 151 u. 152 zeigen Decken, wie sie von *Heufsner*¹¹³⁾ in Wohngebäuden in Hannover ausgeführt sind.

Die stärkeren Decken der unteren Geschosse wurden nach Fig. 151 ausgeführt. Auf der eigentlichen Betonplatte wurden die Lagerhölzer mittels untergelegter Keile genau ausgerichtet und dann mit Schlacken-Beton ausgestampft. Die Träger-Unterflansche sind bündig eingeputzt.

Fig. 151.

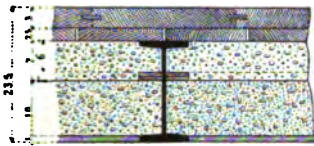
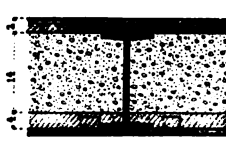


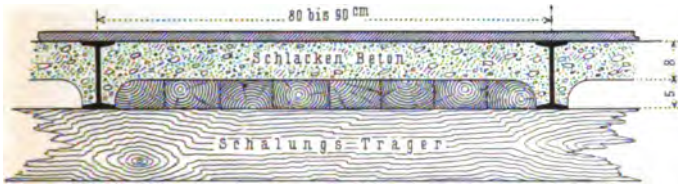
Fig. 152.



flansches schwalbenschwanzförmige Klötzchen eingesetzt, auf die ein Streifen Dachpappe genagelt wurde und welche zugleich zur Befestigung einer Berohrung unter der Pappe dienten.

Die ebenen Schlacken-Betonplatten aus den Werkstättengebäuden des Hauptbahnhofes zu Frankfurt a. M.¹¹⁴⁾, ausgeführt von *Odorico* in Frankfurt a. M., sind im

Fig. 153.



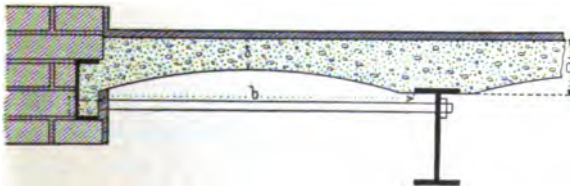
Zustande der Entstehung durch Fig. 153 dargestellt.

Der Beton besteht aus 7 Theilen Gaschlacke von Sandkorn-bis 4 cm Gröfse und 1 Theil Cement. Das Mengen erfolgte trocken; die Masse wurde dann naß durchgearbeitet und auf der in Fig. 153 gezeichneten Holz-schalung nur 8 cm stark zwischen

die Träger gestampft. Die Ausrüstung erfolgte nach 3 bis 4 Tagen, und bei der gleich vorgenommenen Belastungsprobe ergaben 2100 kg auf 1 qm noch keine Formänderung. Auf den Platten liegen in Wohn-räumen Lagerbohlen mit Bretterfußboden, sonst Cement-Estrich oder Terrazzo.

Um zu verhüten, daß sich die Kanten der Träger-Obergurtungen in einem nicht mit Holz bedeckten Fußboden durch Riffe bemerkbar machen, hat man die Betonplatte, wie in Fig. 154 u. 155, oben über die Träger weg gelegt. Trotz der unten gekrümmten Gestalt wirkt der Beton in Fig. 154 in der Regel plattenartig, da wesent-

Fig. 154.



liche Schübe auf die Träger nicht übertragen werden können. Um jedoch etwa entstehende Schübe nicht auf die Wand zu bringen, ist die in Art. 61 (S. 66) erklärte Verankerung des vorletzten mit dem Wandträger vorgenommen.

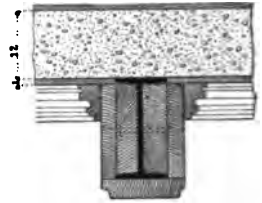
¹¹²⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 3.

¹¹³⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1887, S. 608. — Wochbl. f. Baukde. 1887, S. 449.

¹¹⁴⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1889, S. 572.

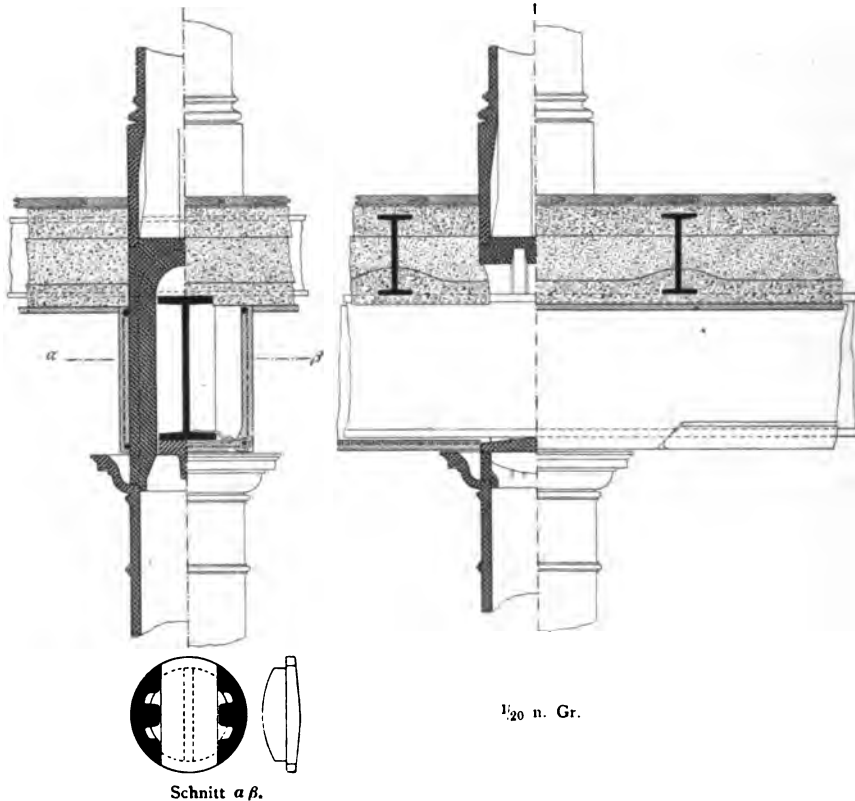
Bei der Construction in Fig. 155 (von *Heufsner* in Hannover ausgeführt) sind die Träger zur Ausbildung einer Decke mit vertieften Balkenfeldern mittels Holzverschalung benutzt. Die beiden Decken in Fig. 154 u. 155 klingen unter dem oben stattfindenden Verkehre. Fig. 155 ist unter Schlafräumen angebracht und daher mit Linoleum abgedeckt, wodurch der Schall gedämpft wird. Die Anordnung in Fig. 154 eignet sich besonders für die Herstellung im Freien liegender Decken, z. B. Balcon-Decken, da die Träger selbst nach dem Entstehen kleiner Risse gut gegen Nässe geschützt sind. Sind die Träger oben bündig mit dem Beton, so sind Abtrennungen des Betons von den Trägern unvermeidlich, in welche das Wasser eindringt; alsdann entsteht die Gefahr, daß die Träger rosten.

Fig. 155.



In Fig. 156 ist eine Deckenanordnung mit Betonplatte dargestellt, welche allen Anforderungen genügen dürfte. Die unteren Trägerflansche tragen eine dünne Betonplatte, deren Dicke genau der verlangten Tragfähigkeit entspricht und welche

Fig. 156.



die unteren Trägertheile ganz gegen Feuer sichern. Der Deckenputz ist unmittelbar unter den Beton gebracht. Um den Schall zu dämpfen, ist auf den Beton eine Lage möglichst unelastischer Füllung gebracht, welche nach oben von einer dünnen Lage Schlacken-Beton bedeckt ist. Letztere dient zur Aufnahme der Nägel und der Jutelage für einen nach Patent *Ludolff* anzubringenden Parquet- oder Stabfußboden und zugleich zur sicheren Einhüllung der Eisenbalken von oben, um diese auch hier

gegen Feuer zu sichern und zu verhindern, daß ein Ablösen der Trägerkanten die Fußbodenanordnung verletzt. Die zwischen zwei Betonlagen vollkommen eingeschlossene Füllung kann in dieser Anordnung, selbst bei mangelhafter Beschaffenheit, keine Uebelfstände hervorrufen.

Der Unterzug dieser Decke hat zugleich einen etwas vergrößerten Körper und ziemlich wirksamen Feuerchutz durch Einhüllen in einen Kasten aus *Rabitz*- oder *Monier*-Putz erhalten. Zu diesem Zwecke sind starke Tragdrähte unter den Balken der Decke befestigt, an denen zwei weitere in den unteren Kastencken durch lothrechte Drahtnetze aufgehängt sind; auch zwischen diese ist ein Drahtnetz eingespannt, so daß nun ein vollständiger Kasten, in den unteren Ecken mit Rundstab verziert, eingeputzt werden kann. Die unteren Eckdrähte sind mittels Flacheisenklammern auch gegen die untere Gurtung des Unterzuges abgesteift. Die Breite des Kastens ist so bemessen, daß sie das runde Zwischenfatzstück der Stütze zwischen den Wandungen aufnehmen kann, das somit ganz verschwindet. Die Luftschichten zwischen den Kastenwänden und dem Unterzuge sichern letzteren auch gegen bedeutende Hitzgrade. Die Anordnung verstößt nur gegen die von *Stolz* (vergl. Art. 56, S. 58) aufgestellte Regel, daß unter den Decken keine vorspringenden Theile liegen sollen. Da aber selbst bedeutende Hitzgrade hier erst nach sehr langer Dauer eine schädliche Wirkung auf die Träger ausüben können, so ist darin kein Mangel zu erkennen.

Trotz ihrer großen Dichtigkeit und Stärke nimmt diese Zwischendecke doch nur eine geringe Höhe ein.

Wegen der ebenen Schalung sind die geraden Betondecken etwas einfacher herzustellen und werden daher häufig den gewölbten vorgezogen; die oben angeführten Vorthelle lassen jedoch die letzteren den ersteren im Allgemeinen überlegen erscheinen.

Bei Versuchen, welche nicht bis zum Bruche getrieben wurden, hat man nun auch bei mit Wölbung hergestellten Betondecken wiederholt keinen Schub auf die Träger bemerkt. Es ist jedoch nicht zu empfehlen, bei der Bemessung der Träger von diesen Schüben abzu sehen, da sie beim Entstehen von selten ganz zu vermeiden den Rissen sich entwickeln müssen, andererseits aber in den meisten Fällen die Kappen so angeordnet werden können, daß die Schübe sich an jedem Träger für alle Belastungen aufheben, wie in Kap. 6 nachgewiesen werden wird.

75.
Bemessung
der
Eisenträger.

d) *Rabitz*- und *Monier*-Decken.

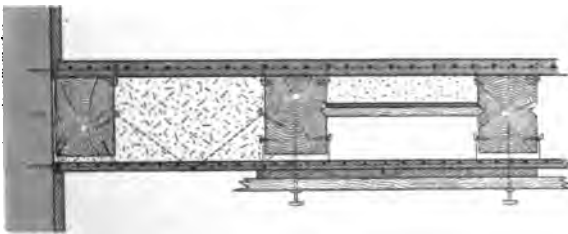
In neuester Zeit verbreitet sich die Verwendung von Decken, welche nach den Patenten *Rabitz* und *Monier* aus Eisenträgern und Mörtelplatten mit Drahteinlage in verschiedener Weise zusammengesetzt werden (vergl. Art. 33 [S. 44], 45 [S. 52] u. 46 [S. 53]).

Derartige Anordnungen können zunächst nach *Rabitz* wie in Fig. 157 ausgeführt werden, wenn man dort die Holzbalken durch eiserne Träger ersetzt. Die

Füllung erfolgt dabei zwischen den beiden Mörtelplatten gleichfalls mittels Torfgrufs oder Kieselguhr in dünner Lage oder in voller Stärke; die Drähte werden mittels Blechbügeln an den Trägern befestigt. Die Hohlräume zwischen den Platten können in Fällen, wo es auf das Warmhalten auch der

76.
Rabitz-
Decken.

Fig. 157.



Fußböden ankommt, zum Einlegen von Heizrohren benutzt werden.

Bei der Ausführung derartiger Decken werden zuerst die stärkeren Drähte quer

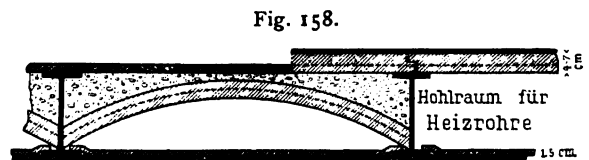
über die Balken gespannt, bei 8 bis 12 mm Stärke in 20 bis 25 cm Theilung; alsdann werden die 5 bis 6 mm starken Längsdrahte in 10 bis 15 cm Theilung eingebunden und das Ganze mit Laufbrettern eingedeckt. Nun wird der Mörtel aus Gyps oder Cement und Sand oder aus beiden gemischt auf einer verschieblich zwischen die Träger eingesetzten Rüstung in Bahnen quer zu den Balken etwa 1,0 m breit eingestampft, wobei einzelne Löcher zum späteren Einbringen der Füllung ausgespart werden. Unter Verschieben der Rüstung reiht man so Bahn an Bahn. Nach Schluß der oberen Platte spannt man die Drähte unten, drückt den Putz in das Gitter und streicht ihn glatt ab. Schließlich erfolgt das Einbringen der Füllung durch die ausgesparten, später zu verputzenden Löcher.

Will man die untere Platte mit der Füllung erst einbringen, so spanne man unter das obere Gitter nach Fertigstellung der übrigen Arbeiten einen billigen Zeugstoff, damit der Mörtel für die obere Platte beim Einbringen ohne Rüstung nicht in die Füllung fällt.

Man kann jedoch in diesem Falle nach Herstellung der unteren Platte auch die obere in Bahnen auf beweglicher Rüstung herstellen, wenn man nach Herstellung einer Querbahn das herausgezogene Gerüst sogleich durch eine entsprechende Bahn der Füllung ersetzt.

Uebrigens ist die Füllung nicht unbedingt erforderlich, da die dichten Platten die Wärme wenig durchlassen und der Schall durch den Hohlraum wesentlich gemildert, wenn auch nicht aufgehoben wird.

Eine ganz ähnliche Decke nach *Monier* zeigt Fig. 158 in ihrem rechten Theile. Hier sind die fertigen Platten, 4 bis 7 cm stark für den Fußboden auf die Träger, für den Deckenputz 1,5 cm stark mit aufgekrümmten Rändern zwischen die unteren Gurtungen gebracht. Die Platten haben die Drahtgitter im unteren Viertel, bzw. in der Mitte und bestehen aus fettem Cementmörtel (1:1 bis 1:3). Die oberen Platten erhalten an den Rändern Falzung und werden mit Cement verstrichen; aus den unteren läßt man die Drahtenden vorragen, welche nach Verlegen der Platten unter den unteren Gurtungen verflochten werden, um hier den am Träger nicht haftenden Deckenputz zu halten. Der Putz wird ohne Weiteres unter die untere Platte gebracht.



Werden die Platten ohne Fuge über mehrere Trägerfache gestreckt, wie in Fig. 159, so kann man zweckmäfsig den Zugspannungen in dem entstehenden continuirlichen Träger durch eine geschlängelte Gestalt der Drahteinlagen folgen, indem man sie über den Trägern hoch, mitten zwischen den Trägern tief legt.

Das Einbringen von Füllung ist bei der Verwendung fertiger Platten einfacher, als bei Herstellung derselben an Ort und Stelle.

Die Anordnung einer nach *Monier* ganz in Cement, bzw. Gyps ausgeführten, reich ausgestatteten Cassetten-Decke zeigt Fig. 159.

Bei den zu Fig. 157, 158 rechts u. 159 beschriebenen Anordnungen ist die Herstellung von Bretterfußböden nicht wohl möglich; Dichtigkeit gegen Schall ist nur durch Einbringen von Füllung herzustellen, welche, abgesehen von der Ausführung



in Torfgrufts, das Gewicht der Decke erheblich vergrößert; dabei wird das Zittern und Dröhnen der oberen Platte unter geringen Verkehrsstößen doch nicht vermieden.

Voll aufgelagerten (auch Holz-) Fußboden kann man verwenden, wenn man gekrümmte *Monier*-Platten bogenartig zwischen die Träger spannt (Fig. 158 links). Letztere müssen dann für die Aufnahme der Seitenschübe verstärkt werden, werden hierin aber durch einen etwa vorhandenen geraden Deckenputz wesentlich unterstützt. Da diese Bogen bei einseitiger Belastung in wechselndem Sinne gebogen werden, so ist es zweckmäßig, den Platten, wenn sie stark genug dazu sind, zwei Drahteinlagen im oberen und unteren Viertel zu geben.

Die Bogenplatten, welche beim Einbringen von Betonleisten auf die Unterflansche nicht wie in Fig. 158 auf diese gesetzt zu werden brauchen, daher das Trägerfach größtentheils hohl lassen, werden mit magerem, leichtem (z. B. Schlacken-) Beton, welcher bei Bretterfußböden die Lagerhölzer nach Fig. 115 (S. 68), 138 (S. 76), 139 (S. 77) u. 140 (S. 77) oder Fig. 146 (S. 79) aufnimmt, nach Bedarf hinterfüllt.

Belastungsversuche mit *Monier*-Platten lieferten die nachfolgenden Ergebnisse.

Nr.	der Platten				Drahteinlage			Belastung		Erfolg
	Länge	Spannweite	Dicke	Pfeil	Art	Drähte in Richtung der		Art	Größe	
						Spannweite	Länge			
1	60	150	5	0	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	2 von 10 mm 1 „ 8 „ 2 „ 6 „ 4 „ 5 „	5 mm dick in 6 cm Abstand	voll	1813	45 mm Durchbiegung ohne Bruch.
2	60	100	5	0	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	3 von 8 mm 2 „ 7 „ 2 „ 6 „ 2 „ 5 „	5 mm dick in 6 cm Abstand	voll	3000	6,8 mm Durchbiegung; Entstehen von sichtbaren Haarrissen.
3	60	450	5	40	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	3 von 14 mm 6 „ 8 „	6 mm dick in 7 cm Abstand	einfeitig bis Scheitel	2550	12 mm Hebung der unbelasteten, 13 mm Senkung der belasteten Seite, ohne Bruch.
								„	2608	Bruch im Mörtel.
4	60	450	5	40	2 Drahtgeflechte in den Dritteln	5 mm dick in 6 cm Abstand	5 mm dick in 6 cm Abstand	einfeitig bis Scheitel	2455	15 mm Hebung der unbelasteten, 13 mm Senkung der belasteten Seite, ohne Bruch.
								„	2970	Bruch im Mörtel.
5	60	450	1 Cement 1 Sand 5	40	ohne Einlage	—	—	einfeitig bis Scheitel	1060	8 mm Hebung der unbelasteten, 11 mm Senkung der belasteten Seite, Bruch.
Centim.					Kilogr. auf 1 qm					

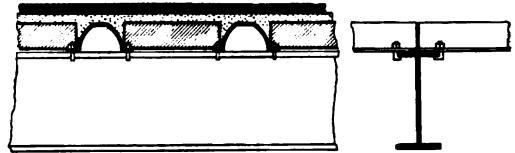
77.
Monier-
Bogen-
platten.

e) Sonstige Anordnungen.

78.
Decken
mit
Belageisen.

Eine im Brückenbau häufiger, als im Hochbau verwendete Deckenanordnung ist die in Fig. 160 dargestellte aus Belageisen¹¹⁵⁾ und Backstein-Flach- oder -Rollschichten¹¹⁶⁾. Die auf die Träger gelegten Belageisen werden, um jede Lochung der ersteren zu vermeiden, mittels kleiner Hakenschrauben in solchen Entfernungen von einander befestigt, daß die Zwischenräume mit Backsteinen überdeckt werden können. Um die Ungleichförmigkeiten in der Lastvertheilung auf die Träger in Folge durchlaufender Continuität der Belageisen zu vermeiden, mache man die Länge der letzteren gleich der Trägertheilung. Für gewöhnliche Verhältnisse genügt die Ueberdeckung durch die Länge flach gelegter Ziegel oder besser Hohlsteine; für schwerere Lasten muß man die Ziegel hochkantig stellen, und nur unter außergewöhnlichen Verhältnissen sind die Belageisen auf Steinbreite zusammenzurücken, wobei dann die Deckung wieder mittels Flachschicht oder Rollschicht aus Zweiquartiren erfolgen kann. Diese Decke erhält zunächst noch eine Ueberfüllung aus Sand oder, zur Verhinderung des Durchrieselns, besser aus ganz magerem Mörtel, bezw. Schlacken-Beton, welche dann jede Art von Fußboden aufnehmen kann.

Fig. 160.



Die Ueberdeckung der Zwischenräume kann statt mit Backsteinen zweckmäßiger mittels Beton erfolgen.

Eine ebene, geputzte Decke ist bei dieser Construction wegen der Höhlungen der Belageisen nur mittels besonderer Hilfsmittel — etwa nach *Rabitz* oder *Monier* — herzustellen. Dagegen kann man die Träger bei nicht zu bedeutender Höhe derselben in der Ueberdeckung verschwinden lassen, wenn man die Belageisen auf den unteren Trägerflansch legt.

Für besser ausgestattete Räume ist diese Anordnung wegen der schwierigen, an sich unschönen Deckenausbildung nicht zu empfehlen.

79.
Steinerne
Cassetten-
Decken.

Als letzte Decke aus Stein und Eisen, deren Verwendung sich jedoch auf besondere Fälle beschränkt, ist die Decke aus Steinplatten auf Eisenträgern, steinerne Cassetten-Decke, zu nennen. Diese Anordnung wird schon dadurch schwierig, daß nur wenige Gesteinsarten die Herstellung solcher auf Biegung zu beanspruchender Platten erlauben. Aber selbst geeignetem Material muß eine bedeutende Stärke gegeben werden, wenn man ähnliche Tragfähigkeit, wie die von Wölbungen oder auch Mörtelplatten erzielen will. Die Decken werden daher theuer und schwer und geben beim Vorhandensein verborgener Risse selbst im besten Gestein keine große Sicherheit. Betrachtet man die Steinplatten nur als Fachfüllung und überträgt die Lasten durch Lagerbalken auf die Träger, so werden die Kosten noch ungünstiger.

Ein Beispiel solcher Deckenbildung zeigt die steinerne Cassetten-Decke der Eingangshalle im *Lycée Janson de Sailly* zu Paris¹¹⁷⁾.

Hier sind zwischen die 26 cm hohen Träger zur Bildung von 107 cm weiten quadratischen Cassettenfeldern zunächst eiserne Querträger von 13 cm Höhe gelegt. Jedes Feld ist dann zunächst durch in die Trägerhöhlungen eingepaßte Randsteine eingefasst, welche innen die Randprofilirung der Cassette und oben

¹¹⁵⁾ Siehe: Theil I, Band 1, erste Hälfte (S. 196) dieses „Handbuches“.

¹¹⁶⁾ Eine derartige Decke mit Holzüberdeckung in Asphalt siehe in: Deutsche Bauz. 1883, S. 397.

¹¹⁷⁾ Siehe: *Le génie civil* 1885, S. 19.

einen Falz zur Aufnahme der 10 cm starken steinernen Deckplatte tragen; oben wird die Cassette durch diese Platte geschlossen. Die unteren Gurtungen der Träger sind in die profilierten Randsteine bündig eingelassen.

Man hat jedoch hier die Steinplatten nicht zur Aufnahme der Fußbodenlast benutzt, sondern Lagerbalken über die Träger gestreckt, welche also die Steinplatten völlig entlasten.

In einigen Fällen, z. B. über den seitlichen Hallen des *Trocadéro*-Palastes zu Paris, hat man in die durch die eisernen Träger gebildeten Cassettenfelder eigens zu diesem Zwecke angefertigte Terracotta-Platten gelegt.

Literatur

über »Balkendecken in Stein, bzw. Mörtel und Eisen«.

HYATT, TH. *An account of some experiments with Portland cement concrete, combined with iron etc.* London 1878.

Weiterer Beitrag zur Frage der Verwendung des Betons im Hochbau. Deutsche Bauz. 1879, S. 393.

KORTÜM. Massive horizontale Deckenconstruction zwischen Eifenträgern. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 328.

MURAT. *Planchers à plafonds monolithes unis, moulurés et sculptés.* Moniteur des arch. 1881, S. 73.

Decken aus hohlen Gewölbesteinen, Neuwieder Tuffsteinen und aus Gyps. Baugwks.-Ztg. 1882, S. 271.

Massive Deckenconstruction, System Murat. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 102.

SCHNEIDER, G. Apparat zum Einrüsten von Decken aus Beton. Deutsche Bauz. 1882, S. 549.

KOCH, A. Hohle Gewölbesteine (Hourdis), System Laporte, von gebrannter Erde. Eisenb., Bd. 16, S. 74.

Ein Beitrag zur Frage der Verwendung des Eisens im Hochbau. Deutsche Bauz. 1883, S. 166.

Hourdis pour planchers. Système Laporte. Nouv. annales de la const. 1883, S. 105.

Die Wölbungen zwischen Traversen. Wochsch. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 67.

Fire-proof building materials. American architect, Bd. 15, Nr. 20, Suppl., S. 1.

WAGNER, W. Herstellung ebener Cementbetondecken. Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 405.

Hollow brick for flat arches. American architect, Bd. 18, Nr. 510, Suppl., S. 1.

Steindecken im London-Pavilion. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 32.

GOLDSCHMIDT, R. Cementgufs-Decken. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 43.

KLETTE, H. Schwamm- und fäulnisfsichere Fußboden- und Deckenconstruction. Civiling. 1886, S. 283.

WAGNER, W. Zement- und Schlacken-Betondecken. Eine hygienische Zeitfrage. Deutsche Bauz. 1886, S. 3.

Schwamm- und fäulnisfsichere Fußboden- und Zwischendecken-Konstruktion. Deutsche Bauz. 1886, S. 129.

Füllungen für Decken-Konstruktionen nach dem System »Laporte«. Deutsche Bauz. 1886, S. 202.

Cement- und Schlackenbeton-Decken. Schweiz. Bauz., Bd. 7, S. 125.

Herstellung feuerfesterer Decken aus Cementbeton und Gyps. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 274.

DALY, M. *Planchers en fer et en béton.* La semaine des const., Jahrg. 13, S. 350 u. ff.

5. Kapitel.

Balkendecken in Eisen.

Der für ganz in Eisen construirte Balkendecken am meisten verwendete Baustoff ist das Wellblech, welches je nach der Form der Wellen in zwei Arten: flaches Wellblech und Trägerwellblech gesondert wird¹¹⁸⁾. Die Wellen der ersten Art bestehen aus flachen, tangentiell an einander schließenden Kreisbogen, die der zweiten bestehen aus Halbkreisen, welche unmittelbar zusammenschließen oder durch kurze

80.
Decken
mit
Wellblech.

¹¹⁸⁾ Siehe auch Theil I, Band 1, erste Hälfte (Art. 194, S. 200) und Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 240 u. 241, S. 304, so wie Art. 251, S. 314) dieses »Handbuchs«.

Tangentenstücke verbunden sind. Die Abmessungen und Widerstandsmomente der Wellbleche verschiedener Fabriken werden im nächsten Kapitel mitgetheilt werden ¹¹⁹⁾.

Die tragenden Balken sind gewöhnlich gewalzte I-Eisen, auf deren untere Flansche die Bleche gelagert werden. Letztere kommen gerade oder gebogen (bombirt) zur Verwendung; die Biegung sollen sie bei der Herstellung, nicht auf der Baustelle erhalten, obwohl dadurch der Preis etwas erhöht wird. Ueberall, wo irgend welche Feuchtigkeit auf die Bleche wirken kann, sollen verzinkte Bleche verwendet werden. In geschützter Lage genügt es, wenn die Bleche nach der Abnahme in der Fabrik gereinigt und mit Bleimennige grundirt, nach dem Verlegen einmal mit Bleimennige und zweimal mit Oelfarbe nachgestrichen werden.

Bombirte Wellbleche, als Bogen verwendet, gestatten in der Regel, wegen der hier vorwiegenden Beanspruchung des Bleches auf Druck, die Verwendung leichterer Bleche; dagegen sind die Träger, da auf dieselben Seitenschübe ausgeübt werden, stärker zu wählen.

Zur Ueberfüllung verwendet man mageren Mörtel, noch besser Beton. Für hölzerne Fußböden werden die Lagerhölzer in letzteren eingestampft; Estriche und Plattenbeläge können darauf ohne Weiteres verlegt werden. Nach unten kann die Eisen-Construction sichtbar bleiben, oder man kann an die Eisenträger eine Deckenschalung anhängen, welche man erforderlichenfalls auch zu putzen in der Lage ist.

In sehr geschickter Weise wurden im Museum für Völkerkunde zu Berlin derart construirte Decken zur Ausführung gebracht.

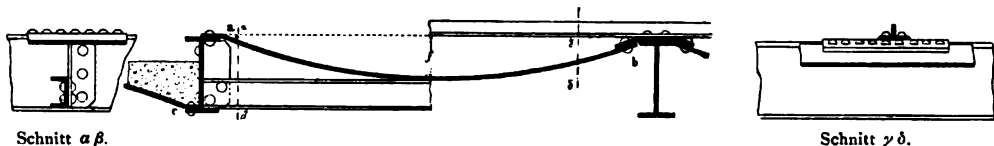
Die 15 m tiefen, durch schmiedeeiserne Unterzüge auf gusseisernen Säulen in der Mitte unterstützten Decken der Ausstellungssäle bestehen aus gewölbtem und sauber verzinktem, zwischen gewalzten Trägern gespanntem Wellblech, auf welches Beton aufgetragen ist; letzterer ist mit Mettlacher Thonfliesen belegt. Die verzinkten Bleche erhielten zum Schutz gegen Blindwerden, gleich nachdem sie aus dem Metallbad gekommen waren, einen Ueberzug, der aus einer Mischung von Dammarlack und holländischem Standöl bestand. Die unteren Flansche der Walzträger sind an den sichtbaren Unterflächen mit gepreßten Messingfriesen geschmückt; auch diese wurden mit Firnis überzogen, welcher sie vor dem Oxydiren schützt und ihnen eine goldähnliche Färbung verleiht ¹²⁰⁾.

Wellblech, insbesondere Trägerwellblech, wird zu Decken-Constructionen auch noch in der Weise verwendet, daß man die tragenden Walzbalken wegläßt und nur bei größeren Spannweiten einen Unterzug anordnet. Von solchen Deckenanordnungen wird unter C die Rede sein.

Selten im Hochbau ¹²¹⁾, jedoch sehr häufig im Brückenbau, ist die Decke aus Tonnenblechen (Fig. 161) auf eisernen Trägern, für welche hier kurz die wichtigsten Gesichtspunkte angegeben werden sollen. Die Bleche werden bis zu 4 qm GröÙe bei

81.
Decken
mit
Tonnen-
blechen.

Fig. 161.



den verschiedensten Längen- und Breitenverhältnissen und gewöhnlich 4 bis 10 mm Stärke mit $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$ Pfeil, und zwar meist nach unten gebogen, verwendet. Be-

¹¹⁹⁾ Siehe auch über die Profile Nr. I bis VI der »Actien-Gesellschaft für Verzinkerei und Eisenconstruction, vorm. Jacob Hilgers« in Rheinbrohl: Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 241, S. 305) dieses »Handbuches«.

¹²⁰⁾ Siehe: Zeitfchr. f. Bauw. 1887, S. 48.

¹²¹⁾ Siehe: Decke des Güterbahnhofes St. Pancras der Midland-Eisenbahn, London. Organ f. d. Fortfchr. d. Eisenbahnw. 1888, S. 92, 157.

fonders wichtig ist hier wieder die Lagerung auf den Trägern. Diese ist meist mittels umgebogenen Randes der Tafel nach *a* in Fig. 161 ausgeführt, wobei aber das Umbiegen des Randes unbequem und die Lochung der Träger unvorteilhaft ist; besonders muß man sich vor Befestigungen, wie in Fig. 162 hüten, weil dabei der Zug der Platten die L-Eisen von der Trägerwand abbiegt; in solchen

Fig. 162.



Fällen müssen die L-Eisen erst durch eine durchgehende Kopfplatte verbunden werden, wie sie bei *b* in Fig. 161 dargestellt ist. Sie vermeidet das Umbiegen der Plattenränder und braucht nicht mit den Trägern vernietet zu sein, beseitigt somit die Schwächung gewalzter

Träger, wie sie bei *a* in Fig. 161 eintrat. Die Stärke der Kopfplatte wähle man etwas größer, als die der Bleche. Besondere Sorgfalt verlangt auch die Nietung der schwachen Bleche; sie muß zur Vermeidung zu großer Lochlaibungspressungen in enger Theilung, mit Nieten von 10 bis 15 mm Durchmesser, erfolgen. Da die unbelastete Oeffnung hier nur einen sehr geringen Gegenzug zur Entlastung der Träger vom Zuge der belasteten liefert, so müssen zahlreiche Steifen zwischen die Träger eingesetzt werden. Am unmittelbarsten erfolgt die Aufhebung der Züge durch Aufnieten der Steifen auf die Kopfplatte mit unten verfenkten Nieten (*b* in Fig. 161); kann man diese jedoch der Fußbodenanordnung wegen nicht anbringen, so müssen sie (*a* in Fig. 161) unter die Bleche gesetzt werden, können auch, aus T-Eisen gebildet, gekrümmt unter die Bleche genietet und dann zur Verlastung der Plattenlöcher benutzt werden.

Werden die Bleche mit Beton überdeckt, so niete man kleine L-Eisen mit aufrecht stehendem, in den Beton greifendem Schenkel auf den Plattenrand; die Druckfestigkeit der zwischen diesen Winkelschenkeln gefaßten Betonplatte hebt den Zug der Tonnenbleche in jedem Balkenfache für jede Belastungsart unmittelbar auf, so daß für die Träger bei allen möglichen Belastungen nur lothrechte Kräfte aufzunehmen bleiben.

Die Wölbung der Bleche nach oben zu legen (*c* in Fig. 161) ist zwar für die Auflagerung auf die Träger günstig; in welcher man so die Nietung ganz entbehren kann, wenn der Rand gut am Stege anliegt; da aber die leicht verbiegbaren Bleche in dieser Lage namentlich der zum Scheitel unsymmetrischen Belastung nur schlecht widerstehen, so müssen sie jedenfalls durch Beton-Ueberbettung versteift sein. Diese steife Ueberbettung kann dann, wie bei den Wellblechbogen, zur Verschwächung der Trägerverankerung ausgenutzt werden.

Zum Schutze gegen Rosten werden die Tonnenbleche meist verzinkt, mindestens gut angefrichen und außerdem gewöhnlich mit einer dünnen Lage von weichem Asphalt überzogen. Die Ueberdeckung erfolgt allgemein am besten mit magerem Mörtel oder Beton, in, bezw. auf welchem dann jeder Fußbodenbelag befestigt werden kann. Deckenschalung ist nur mittels Anhängens an die Träger möglich.

Kann Feuchtigkeit in die Decken dringen, so muß für Entwässerungslöcher in den Scheiteln hängender Platten gesorgt werden; ein Mangel der nach oben gewölbten Platten ist das Zusammenführen des Wassers nach den Trägern.

Noch seltener sind im Hochbau die Buckelplatten-Decken (Fig. 163) aus *Mallet*-schen Platten. Ihre Form ist die eines nach der Mitte zu allmählig in eine Kugelkappe übergehenden Kloostergewölbes. Die gebräuchlichen Einzelabmessungen werden in Kap. 6 mitgetheilt werden.

Die Buckelplatten werden stets mit wagrecht abgebogenem Rande versehen und

82.
Decken
mit
Buckelplatten.

müssen auf allen vier Seiten voll aufliegen und vernietet werden. Sie bedürfen daher eines Rostwerkes von Trägern, dessen Maschen ihrer Grundform genau entsprechen. In Fig. 163 ist ein weit gespannter Hauptträger dargestellt, an welchen kleine Querträger aus L-Eisen anschließen.

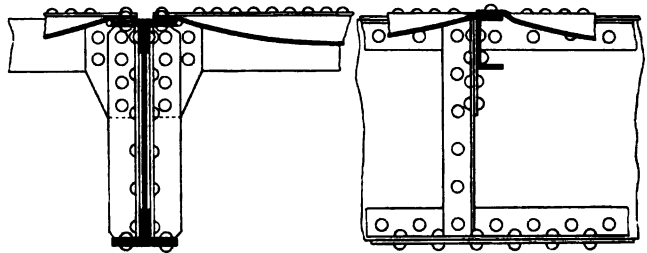
Durch diese Rostanordnung erfolgt zugleich die Aussteifung der Träger gegen die wagrechten Züge der Platten in wirksamster Weise. Diese Platten widerstehen nach oben oder unten gewölbt etwa gleich gut; die nach oben gewölbt verlegten schränken die Masse der

Ueberfüllung ein, haben aber in feuchter Lage wieder den Mangel, daß sie das Wasser nach den Trägern führen. Die nach unten gewölbten erhalten im Scheitel je ein Entwässerungsloch mit eingeschraubtem Röhrchen, an welchem auch etwa entstehendes Schwitzwasser abtropft. Unter diese Abzugsröhrchen ist ein Netz von Sammelrinnen mit Abfallrohren zu legen. Selbstverständlich sind diese Entwässerungsanlagen nur bei freier Lage der Decke oder sonstigem erheblichem Wasserandrang erforderlich.

Auch diese Platten werden am besten verzinkt, wenigstens gut angestrichen und zweckmäßig oben mit Asphalt überzogen, damit die Randfugen gedeckt werden. Ueber Fußboden- und Deckenanordnung gilt das von den Tonnenblechen Gefagte.

Diese Art der Deckenanordnung kommt jedenfalls nur in den am schwersten belasteten Gebäuden, etwa großen Lager speichern, vor.

Fig. 163.



Literatur

über »Balkendecken in Eisen«.

- Ueber die Construction eiserner Decken in Wohngebäuden. CRELLE's Journ. f. Bauk., Bd. 14, S. 73.
Planchers en fer. Système Kaulek. — Système Baudrit. — Système Jeanette. — Système Rosier. Revue gén. de l'arch. 1851, S. 74 u. Pl. 12, 13.
Planchers en fer système Joly. Revue gén. de l'arch. 1851, S. 181.
Planchers de fer. Revue gén. de l'arch. 1853, S. 54, 338 u. Pl. 7—12, 29.
 Die Verhandlungen über eiserne Balkendecken in den Versammlungen des königl. Architekten-Vereins in London. Allg. Bauz. 1854, S. 141.
La question des planchers en fer discutée en Angleterre. Revue gén. de l'arch. 1854, S. 86.
 AUBERT, L. *Emploi du fer et de la fonte dans les constructions. III. Dispositions générales des planchers. Revue gén. de l'arch.* 1855, S. 97.
 Beitrag zur Konstruktion eiserner Zimmerdecken. Allg. Bauz. 1856, S. 261.
Systèmes divers de planchers en fer économiques, employés dans les plus récentes constructions de Paris. Nouv. annales de la const. 1856, S. 27.
 ROUVENAT, P. E. *Essai sur l'emploi des fers à double T dans la construction des planchers. Paris* 1858.
Étude générale sur les planchers en fer. Nouv. annales de la const. 1860, S. 115.
 JOLLY, C. & JOLLY FILS. *Études pratiques sur la construction des planchers et poutres en fer etc. Paris* 1862.
Assemblages bridés pour planchers en fer. Système A. Offelin. Gaz. des arch. et du bât. 1864, S. 268.
 SCHWAEBLÉ & A. DARRU. *Emploi des fers dits fers Zorès dans la construction des planchers. Nouv. édit. Paris* 1867.
 RICHAUD, J. *Notes et renseignements pratiques sur la construction et la résistance des planchers, poutres et poitrails de fer. Gaz. des arch. et du bât.* 1868—69, S. 209.

- DIHM, H. Ueber die Verwendung schmiedeeiserner I-Balken für Deckenconstructionen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1869, S. 383.
- LIGER, F. *Assemblages des planchers, des pans de fer et des pans de fonte*. Gaz. des arch. et du bât. 1872, S. 41, 51, 92, 146.
- LANCK. *De l'emploi rationnel et décoratif des fers à planchers*. Gaz. des arch. et du bât. 1872, S. 163; 1873, S. 13.
- BARRÉ, L. A. *Construction des planchers métalliques*. Moniteur des arch. 1880, S. 84.
- KAPAUN, F. Ueber Decken-Constructionen im Auslande. Zeitschr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1880, S. 82.
- Das Kunstgewerbe-Museum in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 442.
- Der Gerber'sche Träger mit frei schwebenden Stützpunkten im Hochbau. Zeitschr. f. Baukde. 1882, S. 543.
- GUADET. *Planchers métalliques du nouvel hotel des postes à Paris*. La semaine des conf., Jahrg. 7, S. 138, 150, 222.
- HAESECKE. Allgemeine Einführung von Eisenbalken-Decken und deren Anordnung. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 134, 143.

6. Kapitel.

Stärke der Deckentheile und -Unterstützungen.

a) Belastungen.

Die Abmessungen der tragenden Deckentheile hängen vom Eigengewicht der Decken-Construction und von der Gröfse der von der Decke zu tragenden Nutzlast ab.

1) Eigengewicht der Decken.

Für die einfacheren Constructionen der Holzbalkendecke sind die Eigengewichte in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 359, S. 318¹²³) dieses »Handbuches« bereits angegeben worden; dieser Tabelle wird hier noch hinzugefügt:

^{83.}
Eigengewicht.

Es wiegt:	Kilogr.
1 cbm Gyps-Beton	1400
1 cbm Füllsand	1600
1 cbm Backstein-Beton	1700
1 cbm Kies-Beton	2200
1 cbm Schlacken-Beton (1 Theil Cement, 3 Theile Sand, 7 Theile Schlacke) . . .	1000 bis 1100
1 cbm Schlacken-Beton mit Weiskalk (4 : 1)	1235
1 cbm Korksteine	300
1 qm Sprentafeln von Kats (siehe Art. 37, S. 45)	50
1 cbm Tuffstein	800 bis 900
1 qm hohle Terracotten, System Laporte (siehe Art. 35, S. 44)	80 bis 90
1 qm hohle Terracotten, amerikanisches System (siehe Fig. 121 bis 124, S. 71) . .	100 bis 220
1 cbm Afche	850
1 cbm Bauschutt	1530
1 qm Gypsdien von Mack für jedes Centimeter Dicke	6,5
1 qm Thonplattenwölbung, System Gualtavino (siehe Fig. 113 u. 114, S. 67) . . .	170 bis 195
1 cbm Mauerwerk aus hohlen Backsteinen	1250
1 qm hohle Gypsblöcke, System Perrière (siehe Fig. 117, S. 69)	50
1 cbm Kieselguhr, etwas feucht	450

¹²³⁾ 2. Aufl.: Art. 22, S. 17.

Es wiegt:	Kilogr.
1 cbm Kieselguhr, trocken	300
1 cbm Kalkpulver	940
1 cbm Torfstreu (Torfgruß)	180
1 cbm Torfstreu mit etwas Kieselguhr und Kalkpulver	300
1 cbm poröse Terracotta-Platten (siehe Fig. 74, S. 47 u. Fig. 84, S. 52)	1100
1 cbm trockenes Eichenholz	750
1 cbm trockenes Kiehnholz	600
1 qm <i>Monier-</i> oder <i>Rabitz</i> -Platten, 1,5 cm dick	35
3 „ „	75
4 „ „	90
5 „ „	110
1 qm in Backstein ($\frac{1}{2}$ Stein stark) zwischen Eisenträgern gewölbter Decke, einschl. Fußbodenlager und Bretterfußboden	375
1 qm desgl. ohne Fußboden	325
1 qm desgl., $\frac{1}{4}$ Stein stark, mit Fußboden	250
1 qm desgl., $\frac{1}{4}$ Stein stark, ohne Fußboden	200
1 qm desgl., in Töpfen gewölbt, 10 cm Topfhöhe	93
13 „ „	101
16 „ „	131
18 „ „	148
26 „ „	196
1 qm einer 4,5 m weiten Spreitafel-Decke mit Holzbalken, Fußboden, Füllung und Deckenputz, 20 cm Gesamtdicke (nach Fig. 72, S. 47)	275
1 qm desgl. mit Eisenbalken, 20 cm Gesamtdicke (nach Fig. 73, S. 47 u. Fig. 133, S. 74)	200
1 qm Gypsdiele-Decke mit Eisenbalken von 6 m Weite mit drei Lagen Gypsdiele, 23 cm Gesamtdicke (nach Fig. 87 [S. 54] u. 132 [S. 74])	160
1 qm Decke mit Tuffsteinausrollung auf Holzbalken, 4,5 m weit, mit Fußboden, Füllung und Deckenputz (nach Fig. 68, S. 45)	350
1 qm Gyps-Betondecke, einschl. Träger und Holzfußboden, bei 70 cm Trägertheilung, Systeme <i>Vaux</i> , <i>Thuasne</i> , <i>Rouffil</i> (siehe Fig. 98 u. 99, S. 60)	290
1 qm Decke mit gebogenen <i>Monier</i> -Platten, 5 cm dick, Schlacken-Betonfüllung, Fußboden und Deckenputz (siehe Fig. 158, S. 84), einschl. Träger	330
1 qm Balkendecke mit Tuffstein ausgerollt, mit Fußboden und Deckenputz	370
1 qm mit hohlen Gypsblöcken ausgefetzte Decke, einschl. Träger und Fußboden, bei 70 cm Trägertheilung (siehe Fig. 112, S. 66)	240
1 qm desgl. mit Hohlziegeln ausgefetzt (siehe Fig. 111, S. 66)	270
1 qm Decke in Hohlziegeln gewölbt, einschl. Träger und Fußboden (siehe Fig. 115, S. 68)	260
1 qm Decke mit unten ebenen Terracotten (siehe Fig. 119 [S. 70], 121 u. 122 [S. 71], 126 [S. 72]), einschl. Träger und Fußboden	220
1 qm desgl., unten gewölbt (siehe Fig. 120, S. 70)	220

Bei feltener vorkommenden Decken-Constructions, für welche die Gewichte erfahrungsmäßig nicht fest stehen, stellt man zweckmäßig eine genaue Gewichts-berechnung auf, indem man zuerst den Bodenbelag und die Deckenbildung, dann die Fachfüllung und schließlich das Tragwerk fest stellt, für den unten liegenden Theil jedesmal das fest gestellte Gewicht des aufruhenden mit in Rechnung stellend. Nach diesem Gedankengange sollen im Folgenden die einzelnen Theile der Decken ihren Abmessungen nach besprochen werden.

2) Nutzlast.

Die Nutzlasten, welche die Decken-Constructions zu tragen haben, sind bereits in Theil I, Band I, zweite Hälfte (Art. 359, S. 318¹²³) dieses »Handbuches« angegeben worden. Hierzu sei noch bemerkt, daß die Lagerhäuser der Seehäfen jetzt in den unteren Geschossen mit 1500 kg und im obersten Geschos mit 900 kg für 1 qm Deckenfläche berechnet werden; in den zwischengelegenen Geschossen läßt man die Belastung allmählig abnehmen.

Nach einem von einer Commission des Architekten-Vereins zu Berlin 1885 erstatteten Gutachten, betreffend den Schutz der Personen in öffentlichen Versammlungsräumen, soll als Belastung jene durch Menschengedränge (für 1 qm 6 erwachsene Personen zu je 75 kg, zusammen 450 kg) gerechnet werden.

84.
Nutzlast.

b) Abmessungen der Deckentheile.

1) Stärke der Fußbodenbeläge.

Die Stärke der Fußbodenbeläge entzieht sich in den allermeisten Fällen einer Berechnung. Wenn man bei den gewöhnlichen hölzernen Fußböden die Bretter so berechnet, daß sie sich bei einer zulässigen Beanspruchung von 80 kg für 1 qm als Träger auf zwei Stützen zwischen letzteren frei tragen können, so fallen für die gewöhnlichen Balkentheilungen und in Rücksicht auf die Abnutzung die Bretterstärken zu gering aus. Nur in schwer belasteten Speichern, zumal bei der in Fig. 25 (S. 20) dargestellten Construction ohne Balken, werden die Bohlen rechnungsmäßig stärker. Hier empfiehlt es sich, die eigentlichen (unteren) Tragbohlen nach den berechneten Maßen auszuführen, sie dann aber mit einer zweiten, erstere rechtwinkelig kreuzenden, mindestens 3 cm dicken Bohlenlage abzudecken, welche nach erfolgter Abnutzung allein ausgewechselt werden kann.

85.
Hölzerne
Fußböden.

Estriche aus Gyps, Cementmörtel oder Asphalt dürfen nicht als tragende Bauteile angesehen werden; sie bedürfen vielmehr als Unterstützung einer Fachauffüllung, welche die ganze Belastung aufzunehmen im Stande ist; der Estrich nimmt nur die Abnutzung auf. Eben so bilden die Beläge mit natürlichen Steinplatten, Thonfliesen etc. nur eine schützende, keine tragende Schicht; auch sie bedürfen daher einer durchlaufenden Unterstützung.

86.
Estriche
u. Platten-
beläge.

2) Stärke der Ausfüllungen der Balkenfache.

Die Wellerung oder Stakung und die Einschubdecke (siehe Fig. 52 u. 53 [S. 41], 54 [S. 42], 57, 59 u. 60 [S. 43]) sind nicht im Stande, erhebliche Lasten aufzunehmen, bedürfen daher des Schutzes eines tragfähigen Fußbodens; nur der gestreckte Windelboden (siehe Fig. 51, S. 40) wird in ländlichen Gebäuden wohl unmittelbar geringen Lasten, wie niedrigen Lagen von Futter oder Stroh, ausgesetzt. Eben so wird auch der Dübelboden (siehe Fig. 48 bis 50, S. 38) in der Regel keinen Lasten ausgesetzt.

87.
Gewöhnliche
Fach-
ausfüllungen.

Ebene Fachfüllungen mit Gypsdien (siehe Fig. 87, S. 54), Spreitafeln (siehe Fig. 70 bis 73, S. 46 u. 47), Tuffsteinen (siehe Fig. 68, S. 45), Terracotta (siehe Fig. 74, S. 47), Gyps-Beton (siehe Fig. 86 [S. 53], 98 u. 99 [S. 60]), Hohlziegeln (siehe Fig. 79, S. 51), porösen Ziegeln, hohlen Gypsblöcken (siehe Fig. 80, S. 51), hohlen Terracotta-Kasten (siehe Fig. 63 [S. 44], 64 [S. 45], 117 [S. 69], 119 bis 122

88.
Fach-
ausfüllungen
mit
künstlichen
Steinen.

123) 2. Aufl.: Art. 24, S. 19 u. 20.

[S. 70 u. 71]) können zwar grofsentheils, namentlich bei Anordnungen wie in Fig. 79 (S. 51), 117 (S. 69), 119 bis 122 (S. 70 u. 71), erhebliche Lasten tragen, deren Gröfse in den früheren Mittheilungen über Belastungsversuche angegeben ist; in der Regel erhalten sie jedoch keine Last, da diese von nur lose oder gar nicht auf der Füllung ruhenden Hölzern oder Brettern auf die Balken oder Träger gebracht wird. Nothwendig ist diese Entlastung bei den Anordnungen in Fig. 68 (S. 45), 74 (S. 47), 86 (S. 53), 98 u. 99 (S. 60), da diese wenig Tragfähigkeit besitzen. Die Tragfähigkeit der aus einzelnen Theilen — porösen oder hohlen Ziegeln, Gyps- oder Terracotta-Kaften — zusammengesetzten Füllungsplatten hängt, da sie auf Biegung beansprucht werden, lediglich von der Zugfestigkeit des die Fugen füllenden Mörtels ab. Die Dicke der Platte d ist bei der Trägertheilung b , der Nutzlast p für die Flächeneinheit, dem Gewichte g der Flächeneinheit des Fußbodens und der Ueberfüllung, dem Gewichte γ der Raumeinheit der Platte und der zulässigen Beanspruchung s des Fugenmörtels auf Zug für die Flächeneinheit zu bestimmen nach der Formel:

$$d = \frac{3b^2}{2s} \left[\frac{\gamma}{4} + \sqrt{\left(\frac{\gamma}{4}\right)^2 + \frac{(p+g)s}{3b^2}} \right] \quad \dots \quad 1.$$

Beispiel. Ein hölzerner Bretterfußboden von 3 cm Dicke mit 8 cm Unterfüllung aus Schlacken-Beton wiegt für 1 qm ($g =$) $0,03 \cdot 600 + 0,08 \cdot 1230 = 116 \text{ kg}$ und hat ($p =$) 500 kg Nutzlast auf 1 qm zu tragen. Die Theilung b der eisernen Träger sei 0,8 m und das Gewicht der Platte für Hohlziegel ($\gamma =$) 1250 kg für 1 cbm. Die Fugen werden in Cementmörtel der Mischung 1 : 3 ausgeführt, welchem mit Sicherheit nur ($s =$) 15000 kg Zug auf 1 qm zugemuthet werden dürfen. Es mufs dann sein

$$d = \frac{3 \cdot 0,8^2}{2 \cdot 15000} \left[\frac{1250}{4} + \sqrt{\left(\frac{1250}{4}\right)^2 + \frac{(500 + 116) 15000}{3 \cdot 0,8^2}} \right] = 0,16 \text{ m}.$$

89.
Ebene
Betonplatten.

Ebene Betonplatten (Fig. 164 bis 167¹²⁴) unterscheiden sich hinsichtlich der Stärkenbestimmung von den eben besprochenen Fachausfüllungen nicht, welche nach Gleichung 1 erfolgt. Da jedoch der Beton in Folge des gleichmäfsigen Gefüges mehr Sicherheit gegen Zugbeanspruchung besitzt, als eine Platte aus einzelnen durch Fugen getrennten Körpern, für welche nicht eigentlich die Zugfestigkeit des Mörtels, sondern nur das von mancherlei Zufälligkeiten abhängige Anhaften des Mörtels an den Steinen in Frage kommt, so kann die zulässige Zugbeanspruchung s hier höher — bei den fetteren Betonarten und guter Herstellung bis 30000 kg für 1 qm — angenommen werden. Eine Ueberfüllung aus Schlacken-Beton (Fig. 164 bis 166) kann, wenn sie unmittelbar auf der ganz frischen Betondecke eingestampft ist, als mit zur berechneten Plattendicke gehörend angesehen werden.

Fig. 164.

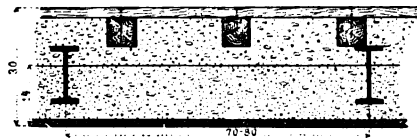


Fig. 165.

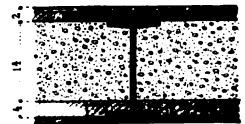


Fig. 166.

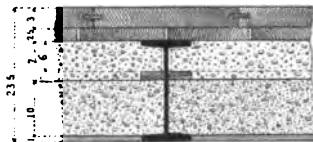


Fig. 167.



¹²⁴) Vergl.: Art. 72 (S. 80) — ferner: ENGESSER, F. Ueber die Festigkeit von Beton-Bogen. Deutsche Bauz. 1887, S. 580.

Fig. 168.

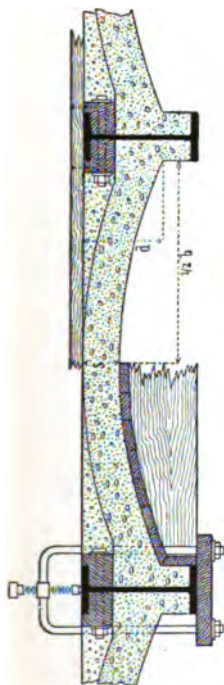


Fig. 169.

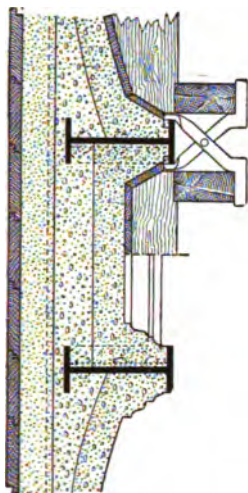


Fig. 170.

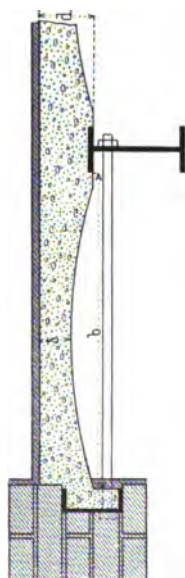


Fig. 171.

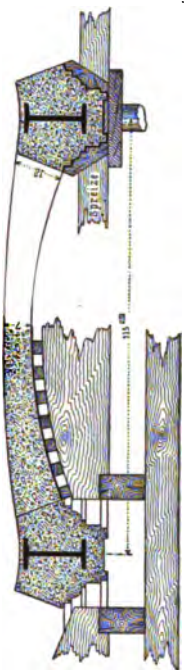


Fig. 173.



Fig. 174.

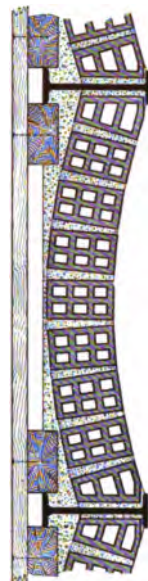


Fig. 176.

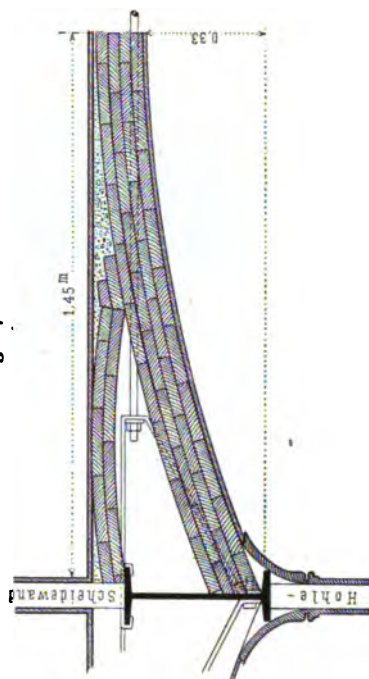


Fig. 175.

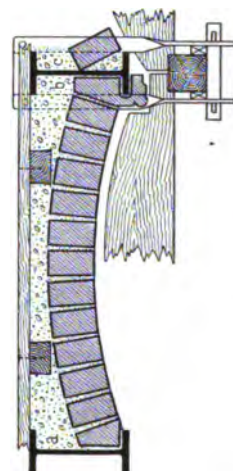
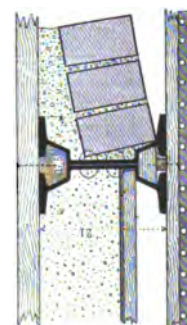


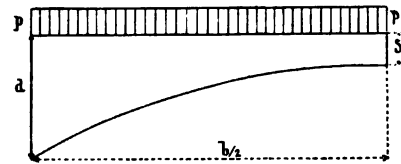
Fig. 172.



Die Auswölbung der Balkenfache ohne Uebermauerung im Scheitel ist gewöhnlich bei Betonwölbung (Fig. 168 bis 171¹²⁵⁾, jedoch auch bei Backsteinwölbung (Fig. 172 bis 176) verwendbar. Als Weite b der Wölbung wird in der Regel die Trägertheilung anzusehen sein; doch kann man, genau genommen, auch das Lichtmaß zwischen den Kanten der Trägerflanschen einführen (Fig. 168 u. 170).

Sind für eine derartige Wölbung (Fig. 177) die zulässige Beanspruchung auf die Flächeneinheit des Kappenquerschnittes s , das Gewicht der Kappe und der Schenkelübermauerung γ für die Raumeinheit, die gleichförmig vertheilte Nutzlast p für die Flächeneinheit, so sind in der Regel p , γ , b und s gegeben, und die ganze Wölbhöhe d , die Scheitelfstärke δ und der wagrechte Schub H' folgen aus:

Fig. 177.



$$d = \frac{b^2 (6p + 5\gamma\delta) + 16s\delta^2}{24s\delta - \gamma b^2}; \quad 2.$$

$$\delta = 0,75 d - \frac{5}{32} \frac{\gamma b^2}{s} - \sqrt{\left(0,75 d - \frac{5}{32} \frac{\gamma b^2}{s}\right)^2 - \frac{b^2}{16s} (\gamma d + 6p)}; \quad 3.$$

$$H' = \frac{s\delta}{2} \quad 4.$$

Der wagrechte Widerstand, welchen ein unbelastetes Gewölbe einem benachbarten, voll belasteten höchstens leisten kann, beträgt:

$$H'' = \frac{\sqrt{9s^2(d-2\delta)^2 + \gamma s b^2(d+5\delta)} - 3s(d-2\delta)}{8} \quad 5.$$

In gewissen Fällen, namentlich bei großem δ und kleinem d , kann sich nach diesen Formeln H'' größer als H' ergeben, was widerfönnig wäre. In solchen Fällen ist dann $H'' = H'$ anzunehmen.

Beispiel. Für einen Speicherboden seien die Trägertheilung ($b =$) 1,6 m, die Belastung ($p =$) 750 kg auf 1 qm, das Gewicht des verwendeten Betons 2200 kg für 1 cbm und die zulässige Beanspruchung (s) für die Betonmischung mit Rücksicht auf vorkommende Stöße 30 000 kg für 1 qm; schließlich soll der Scheitel die Stärke von 10 cm erhalten, sonach $\delta = 0,1$ m sein. Es ist dann nach Gleichung 2 die ganze Wölbhöhe

$$d = \frac{1,6^2 (6 \cdot 750 + 5 \cdot 2200 \cdot 0,1) + 16 \cdot 30\,000 \cdot 0,1^2}{24 \cdot 30\,000 \cdot 0,1 - 2200 \cdot 1,6^2} = 0,228 \text{ m},$$

und der Schub des Gewölbes für 1 m Länge nach Gleichung 4

$$H' = \frac{30\,000 \cdot 0,1}{2} = 1500 \text{ kg},$$

ferner der Widerstand des unbelasteten Gewölbes nach Gleichung 5

$$H'' = \frac{\sqrt{9 \cdot 30\,000^2 (0,228 - 2 \cdot 0,1)^2 + 2200 \cdot 30\,000 \cdot 1,6^2 (0,228 + 5 \cdot 0,1)} - 3 \cdot 30\,000 (0,228 - 2 \cdot 0,1)}{8} = 1110 \text{ kg}.$$

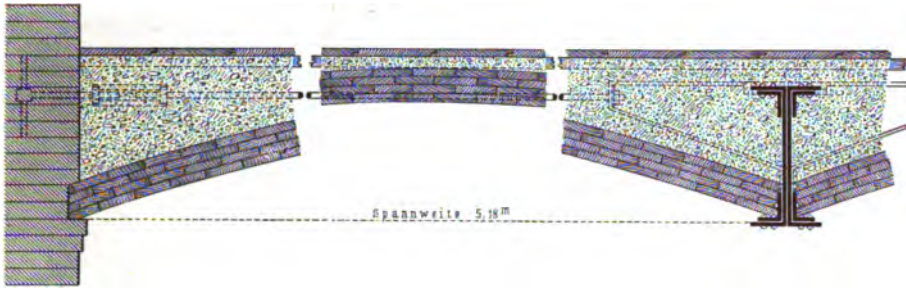
Wäre z. B. wegen bestimmter Höhe der ganzen Decke von vorn herein $d = 0,3$ m vorgeschrieben, so wäre nach Gleichung 3

$$\delta = 0,75 \cdot 0,3 - \frac{5}{32} \frac{2200 \cdot 1,6^2}{30\,000} - \sqrt{\left(0,75 \cdot 0,3 - \frac{5}{32} \frac{2200 \cdot 1,6^2}{30\,000}\right)^2 - \frac{1,6^2}{16 \cdot 30\,000} (2200 \cdot 0,3 + 6 \cdot 750)} = 0,092 \text{ m}$$

zu machen.

¹²⁵⁾ Siehe: ENGESSER, F. Ueber die Festigkeit von Beton-Bogen. Deutsche Bauz. 1881, S. 580.

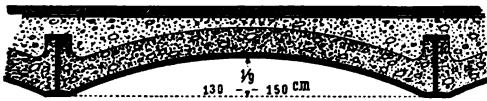
Fig. 178.



Die Auswölbung der Balkenfache mit Uebermauerung im Scheitel wird namentlich bei Backsteinwölbungen (siehe Fig. 172 bis 174 u. 178) verwendet, ist jedoch auch bei Betonwölbungen verwendbar, wenn man eine Wölbung aus fetter Mischung von der mageren Ueberschüttung gefondert herstellt (siehe Fig. 169 u. 179). Das Gewicht der Uebermauerung kann in der Regel gleich dem der Wölbung γ gesetzt werden. Bei Backsteinwölbungen ist hier δ (siehe Fig. 125, S. 72) gegeben, nämlich

91.
Auswölbung
mit
Scheitel-
übermauerung.

Fig. 179.



der gewählten Steinstärke gleich zu setzen. Uebermauerung und Scheitel haben zusammen die Stärke h .

Mit Bezug auf Fig. 180 sind hier bei den obigen Bezeichnungen

$$d = \frac{8 s \delta (3 h - \delta) + b^2 (6 p + 5 \gamma h)}{24 \delta s - \gamma b^2}, \quad \dots \quad 6.$$

$$\delta = 0,5 \sqrt{9 (d - h)^2 + \frac{b^2}{s} \left[\frac{\gamma (d + 5 h)}{2} + 3 p \right]} - \frac{3}{2} (d - h), \quad \dots \quad 7.$$

$$H' = 0,5 s \delta, \quad \dots \quad 8.$$

und der größtmögliche Gegenschub des unbelasteten Gewölbes

$$H'' = 0,125 \left[\sqrt{9 s^2 (d - h - \delta)^2 + \gamma s b^2 (d + 5 h)} - 3 s (d - h - \delta) \right] \quad 9.$$

Würde hiernach $H'' > H'$, so wäre $H'' = H'$ anzunehmen. Bei durch die Trägerverhältnisse fest gesetztem d und angenommenem δ kann h bestimmt werden aus

$$h = \frac{8 s \delta (3 d + \delta) - b^2 (6 p + \gamma d)}{5 \gamma b^2 + 24 s \delta} \quad 10.$$

Eine üble Eigenschaft aller Kappenwölbungen ist die wagrechte Belastung der sie aufnehmenden Träger, da diese in seitlicher Richtung nicht viel Widerstand leisten können,

selbst wenn man besondere, theuere Trägerquerschnitte — etwa nach *Gocht*, *Klette* oder *Lindfay* — verwendet.

Die Kappen lassen sich jedoch so bemessen, daß die unbelastete im Stande ist, ohne Ueberschreitung der zulässigen Beanspruchung einen dem Schube der benachbarten, belasteten Kappe gleichen Widerstand zu leisten, wobei dann auf die Träger keine seitliche Belastung, sondern nur ein geringes Verdrehungsmoment einwirkt. Die Abmessungen solcher Kappen gleichen Schubes sind nach Gleichung 11

bis 20 zu bestimmen, welche zugleich den Fall berücksichtigen, daß Kappe und Uebermauerung verschiedenes Einheitsgewicht haben (siehe Fig. 179 u. 181).

Zu unterscheiden sind noch die beiden Fälle, daß die Kappe überall gleich stark ist oder daß sie so an Stärke zunimmt, daß überall die lothrechte Abmessung der Fugen gleich δ wird.

Für beide Fälle ist (Fig. 181)

$$\delta_1 = \delta (1 + k), \quad \dots \dots \dots 11.$$

und zwar im ersten Falle

$$k = 8 \left(\frac{d-h}{b} \right)^2, \quad \dots \dots \dots 12.$$

im letzteren Falle

$$k = 16 \left(\frac{d-h}{b} \right)^2 \dots \dots \dots 13.$$

Die Pfeile werden bei diesen Kappen sehr flach. Die Werthe für k folgen für einige der gewöhnlichsten Pfeilverhältnisse $\frac{d-h}{b}$ aus der nachstehenden Zusammenstellung.

$\frac{d-h}{b} =$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{22}$
Kappenstärke bleibt unverändert $k = 8 \left(\frac{d-h}{b} \right)^2$	0,055	0,036	0,025	0,020	0,0165
Kappenstärke wächst $k = 16 \left(\frac{d-h}{b} \right)^2$	0,111	0,072	0,050	0,040	0,033

Ein dem vorliegenden Falle nach Schätzung entsprechender Werth für k ist zunächst anzunehmen; dann ergeben sich die übrigen Abmessungen nach dem aus äußeren Bedingungen von vornherein fest stehenden h , wie folgt:

$$\delta = \frac{b}{2} \sqrt{\frac{3p}{s(2+k)}}; \quad \dots \dots \dots 14.$$

$$d = h + b \frac{6[\gamma h(2+k) + p(1+2k)] + (\gamma_1 - \gamma)\delta(6+k)(2+k)}{\sqrt{432sp(2+k) - \gamma b(2+k)}}; \quad \dots \dots 15.$$

$$H' = H'' = \frac{\delta s}{2} \dots \dots \dots 16.$$

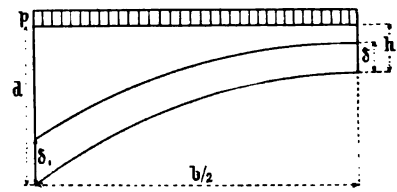
Das Verdrehungsmoment für den Träger ist

$$M_t = \frac{s\delta^2(1+k)}{6} \text{ für die Längeneinheit des Trägers } \dots \dots 17.$$

Das Gewicht der Längeneinheit einer Kappe ist (Fig. 181)

$$G = b \left[\frac{\gamma}{3}(d+2h) + (\gamma_1 - \gamma) \frac{\delta}{2} \left(1 + \frac{k}{3} \right) \right] \dots \dots \dots 18.$$

Fig. 181.



Ist das Einheitsgewicht der Uebermauerung gleich dem der Kappe, also $\gamma = \gamma_1$, so bleiben die obigen Gleichungen bestehen; nur geht Gleichung 15 über in

$$d_{\gamma=\gamma_1} = h + b \frac{6 [\gamma h (2 + k) + p (1 + 2k)]}{\sqrt{432 s p (2 + k) - \gamma b (2 + k)}} \quad 19.$$

und Gleichung 18 in (Fig. 181)

$$G_{\gamma=\gamma_1} = \frac{\gamma b (d + 2h)}{3} \quad 20.$$

Ergibt sich in bestimmtem Falle nach Gleichung 14 ein δ , welches gröfser ist, als das zunächst angenommene h , so ist in den weiteren Formeln δ statt h einzuführen, und die Kappe erhält im Scheitel keine Uebermauerung.

Es ist schliesslich zu prüfen, ob für die berechnete Kappe $\frac{d-h}{b}$, d. h. das Pfeilverhältnifs, mit demjenigen übereinstimmt, welches dem zuerst angenommenen k -Werthe nach Gleichung 12 oder 13 zu Grunde liegt. Ist dies nicht der Fall, so ist die Rechnung mit dem dem berechneten $\frac{d-h}{b}$ nach Gleichung 11 oder 12 entsprechenden k zu wiederholen. Da sich jedoch die Gröfsen δ und d mit erheblichen Abweichungen von k nur langsam ändern, so wird diese Berichtigungsrechnung nur selten erforderlich werden.

Beispiel. In einem Lagerhaufe sollen die Kappen zwischen Eisenträgern so gewölbt werden, dafs letztere keinen Seitenschub erhalten. Die Dicke der Decke soll an den schwächsten Stellen, wegen Dichtigkeit gegen Kälte, mindestens ($h =$) 18 cm betragen. Die Kappen werden in hartem Backstein mit $\gamma_1 = 0,0018 \text{ kg}$ für 1 cbcm und mit Rücksicht auf Stöfse $s = 6 \text{ kg}$ für 1 qcm gewölbt, dann mit Schlacken-Beton ($\gamma = 0,00123 \text{ kg}$ für 1 cbcm) überstampft; die Trägertheilung ist ($b =$) 150 cm, die zu tragende Verkehrslast ($p =$) $0,12 \text{ kg}$ für 1 qcm.

Es ist zunächst bei Backsteinwölbung gleich bleibende Kappenstärke vorauszusetzen und daher nach der Zusammenstellung zu Gleichung 11 bis 14, bei dem angenommenen Pfeilverhältnisse $\frac{d-h}{b} = \frac{1}{20}$, $k = 0,02$ einzuführen. Es wird dann nach Gleichung 14

$$\delta = \frac{150}{2} \sqrt{\frac{3 \cdot 0,12}{6 \cdot 2,02}} = 12,92 \text{ cm} \approx 13 \text{ cm},$$

und nach Gleichung 15

$$d = 18 + 150 \frac{6(0,00123 \cdot 18 \cdot 2,02 + 0,12 \cdot 1,04) + (0,0018 - 0,00123) \cdot 12,92 \cdot 6,02 \cdot 2,02}{\sqrt{432 \cdot 6 \cdot 0,12 \cdot 2,02 - 0,00123 \cdot 150 \cdot 2,02}} = 24,72 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm};$$

ferner nach Gleichung 16

$$H' = H'' = \frac{12,92 \cdot 6}{2} = 37,8 \text{ kg für 1 lauf. Centim. Träger},$$

nach Gleichung 17

$$M_t = \frac{6 \cdot 12,92^2 \cdot 1,02}{6} = 170 \text{ cmkg für 1 lauf. Centim. Träger},$$

endlich nach Gleichung 18

$$G = 150 \left[\frac{0,00123}{3} (25 + 2 \cdot 18) + (0,0018 - 0,00123) \frac{13}{2} \left(1 + \frac{0,02}{3} \right) \right] = 4,31 \text{ kg für 1 lauf. Centim. Träger}.$$

Bei diesen Abmessungen wird $\frac{d-h}{b} = \frac{25-18}{150} = \frac{1}{21,4}$; angenommen war $\frac{1}{20}$. Diese Abweichung hat auf k einen so geringen Einfluss, dafs die Berichtigungsrechnung nicht angestellt zu werden braucht.

Die Stärke ebener Mörtelplatten¹²⁶⁾ mit Drahteinlagen, wie sie in Fig. 182, 183 rechts u. 184 dargestellt sind, kann, wenn man die Spannungsvertheilung in der

92.
Fachausfüllung
mit
Monier- und
Rabitz-Platten.

¹²⁶⁾ Ueber ausgedehnte Belastungsveruche mit Monier-Platten siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 297 — ferner: Rabitz-Platten. WAYSS, G. A. Das System Monier. Berlin 1887.

Platte als nach Fig. 185¹²⁷⁾ vorgehend anfielt, nach den nachfolgenden Regeln bemessen werden. Es bezeichne q die gefamnte bleibende und bewegliche Auflast der Platte für die Flächeneinheit, γ das Gewicht der Raumeinheit der Platte selbst, s die zulässige Beanspruchung der Flächeneinheit des Plattenquerschnittes auf Druck (bei Cement-Mörtel der Mischung 1 : 3 etwa 16 kg für 1 qcm), s_e die zulässige Zugbeanspruchung auf die Flächeneinheit des Querschnittes der eingelegten Drähte, δ die Plattendicke, b die Theilung der die Platte tragenden Träger,

Fig. 182.

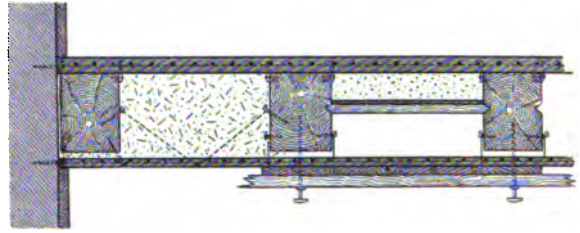


Fig. 183.



Fig. 184.



d den Durchmesser der eingelegten Drähte, t die Theilung der letzteren (Fig. 185) und a den Abstand der Drahteinlage von der gezogenen Aufsenkante der Platte; alsdann mache man

$$\delta = 0,8 \left[2a + \frac{\gamma b^2}{s} + \sqrt{\left(2a + \frac{\gamma b^2}{s} \right)^2 + \frac{20q \cdot b^2}{3s}} \right] \quad \dots \quad 21.$$

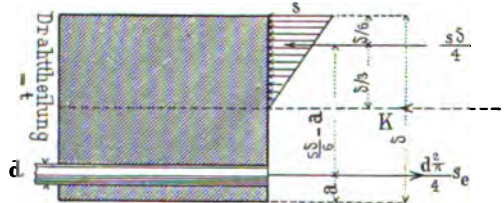
$$d = \sqrt{\frac{t}{\pi} \frac{s}{s_e} \delta} \quad \text{oder} \quad t = \pi \frac{s_e}{s} \frac{d^2}{\delta} \quad \dots \quad 22.$$

Wird noch der Abstand a als Theil der Plattendicke fest gelegt, also $a = \frac{\delta}{m}$ gesetzt, so lautet Gleichung 21:

$$\delta = \frac{1,5m}{5m-6} \frac{\gamma b^2}{s} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} \cdot \frac{5m-6}{m} \cdot \frac{sq}{\gamma b^2}} \right) \quad \dots \quad 23.$$

Die Formeln liefern für durchlaufende, über den Trägern nicht gestoßene Platten (Fig. 182 u. 184) etwas sicherere Ergebnisse, als für die Platten mit Fugen über den Trägern (Fig. 183 rechts). Man kann daher die zulässigen Beanspruchungen s und s_e für durchlaufende Platten etwas höher annehmen, als für unterbrochene, vorausgesetzt, daß die Drahteinlage nach Fig. 184 geschlängelt ausgebildet ist.

Fig. 185.



Beispiel. Auf einem Trägerroste von ($b =$) 80 cm Theilung, welcher ($q =$) 0,04 kg auf 1 qcm Grundfläche zu tragen hat, soll eine Platte aus Cement-Mörtel (von der Mischung 1 : 5) des Gewichtes ($\gamma =$) 0,002 kg für 1 cbcm und mit der zulässigen Druckbeanspruchung ($s =$) 8 kg für 1 qcm hergestellt werden, in welcher die Drahteinlage um ($a =$) 1 cm von der Unterkante absteht.

¹²⁷⁾ Vergl.: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 462 — ferner eine schärfere Berechnung in: Wochschr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 209 u. 224.

Nach Gleichung 21 wird

$$\delta = 0,3 \left[2 \cdot 1 + \frac{0,002 \cdot 80^2}{8} + \sqrt{\left(2 \cdot 1 + \frac{0,002 \cdot 80^2}{8} \right)^2 + \frac{20 \cdot 0,04 \cdot 80^2}{3 \cdot 8}} \right] = 5,6 \text{ cm.}$$

Wird für den Draht die Beanspruchung von ($s_s =$) 1000 kg für 1 qcm zugelassen und sollen ($d =$) 0,4 cm starke Drähte zur Verwendung kommen, so ist nach Gleichung 22 die Theilung

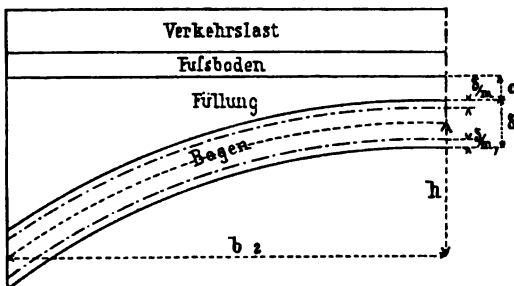
$$t = 3,14 \frac{1000}{8} \frac{0,4^2}{5,6} = 11,2 \text{ cm}$$

weit zu machen. Wäre bestimmt, daß die Drahteinlage sich um den ($m =$) 5,6-ten Theil der Dicke von der Unterkante befinden soll, so würde sich nach Gleichung 23 eben so ergeben haben

$$\delta = 1,6 \frac{5,6 \cdot 0,002 \cdot 80^2}{(5 \cdot 5,6 - 6) \cdot 8} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4(5 \cdot 5,6 - 6) \cdot 8 \cdot 0,04}{3 \cdot 5,6 \cdot (0,002 \cdot 80)^2}} \right] = 5,6 \text{ cm.}$$

Die gebogenen Mörtelplatten für Trägerfache (Fig. 186) erhalten zweckmäßig zwei Drahteinlagen, da der Sinn der Biegemomente für alle Querschnitte wechseln kann.

Fig. 186.



Die Aufstellung der Regeln für die Stärkenbemessung erfolgt mit Bezug auf Fig. 186. Es bedeute s die zulässige Beanspruchung des Plattenmörtels auf Druck für die Flächeneinheit des Querschnittes, s_s diejenige des Drahtes in den Drahteinlagen, p die Nutzlast für die Flächeneinheit, g das Gewicht eines etwa vorhandenen Fußbodenbelages für die Flächeneinheit, γ das Gewicht der

Raumeinheit der Plattenüberfüllung, γ_1 das Gewicht der Raumeinheit des Plattenmörtels, b die Trägertheilung (Bogenweite), h den Pfeil der Bogenmittellinie, c die Höhe der Bogenüberfüllung im Scheitel, δ die Plattenstärke und $\frac{\delta}{m}$ den Theil der Plattenstärke, welchen die Drahteinlage oben und unten abschneidet; die Plattenstärke folgt alsdann aus

$$\delta = \frac{1}{\frac{8hs}{b^2} - \gamma_1} \left[\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2} \right)^2 + \frac{3,1 m p h \left(\frac{8hs}{b^2} - \gamma_1 \right)}{5m - 6}} \right]; \quad \dots \quad 24.$$

darin ist q aus der Erklärungsgleichung:

$$q = \gamma \left(c + \frac{h}{5} \right) + g + 0,6 p \quad \dots \quad 25.$$

zu bestimmen. Der Drahtdurchmesser d oder die Drahttheilung t der Einlagen folgt aus

$$d = b \sqrt{\frac{m t p}{8,1 (5m - 6) \delta s_s}} \quad \text{oder} \quad t = \frac{8,1 (5m - 6) \delta s_s}{m p} \left(\frac{d}{b} \right)^2 \quad \dots \quad 26.$$

Der größte Schub H' , welchen eine voll belastete Bogenplatte leistet, ergibt sich zu

$$H' = \frac{b^2}{8h} \left[\gamma_1 \delta + \gamma \left(c + \frac{h}{5} \right) + g + p \right], \quad \dots \quad 27.$$

und bezeichnet g_1 nach der Erklärungsgleichung

$$g_1 = \gamma_1 \delta + \gamma \left(c + \frac{h}{5} \right) + g, \quad \dots \quad 28.$$

so ergibt sich der größte Gegenschub H' , den eine unbelastete Bogenplatte leisten kann, aus

$$H'' = \frac{s \delta^2 (5m - 6) + 3mg_1 \delta^2}{\delta (5m - 6) + 24ml} \quad \dots \quad 29.$$

Beispiel. Ein mit ($p =$) 0,05 kg für 1 qcm belasteter Cement-Estrich von 3 cm Dicke wiegt ($g =$) 0,006 kg für 1 qcm und ruht auf einer Sandfüllung mit ($\gamma =$) 0,0016 kg Gewicht für 1 cbcm zwischen Trägern von ($b =$) 150 cm Theilung. Die Sandfüllung ist im Scheitel ($c =$) 8 cm stark; der Pfeil der Bogenplatte beträgt ($h =$) 15 cm; 1 cbcm der Platte wiegt ($\gamma_1 =$) 0,002 kg; die Drahteinlagen sollen aus ($d =$) 0,4 cm dicken Drähten bestehen und um $\frac{\delta}{4}$ ($m = 4$) von den Außenflächen entfernt sein. Die zulässige Beanspruchung des Cement-Mörtels (der Mischung 1 : 3) auf Druck sei ($s =$) 16 kg für 1 qcm, diejenige des Drahtes ($s_e =$) 1100 kg für 1 qcm. Alsdann ist nach Gleichung 25

$$q = 0,0016 \left(8 + \frac{15}{5} \right) + 0,006 + 0,05 \cdot 0,05 = 0,0536 \text{ kg};$$

also nach Gleichung 24

$$\delta = \frac{1}{\frac{8 \cdot 15 \cdot 16}{150^2} - 0,002} \left[\frac{0,0536}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,0536}{2} \right)^2 + \frac{3,1 \cdot 4 \cdot 0,05 \cdot 15 \left(\frac{8 \cdot 15 \cdot 16}{150^2} - 0,002 \right)}{5 \cdot 4 - 6}} \right] = 3,2 \text{ cm}.$$

Ferner ist nach Gleichung 26 die Drahttheilung

$$t = \frac{8,1 \cdot (5 \cdot 4 - 6) \cdot 3,2 \cdot 1100}{4 \cdot 0,05} \left(\frac{0,4}{150} \right)^2 = 14,2 \text{ cm}.$$

Der größte Schub der vollen Kappe auf 1 cm Länge wird nach Gleichung 27

$$H' = \frac{150^2}{8 \cdot 15} \left[0,002 \cdot 3,2 + 0,0016 \left(8 + \frac{15}{5} \right) + 0,006 + 0,05 \right] = 15 \text{ kg}.$$

Nach Gleichung 28 wird $g_1 = 0,002 \cdot 3,2 + 0,0016 \left(8 + \frac{15}{5} \right) + 0,006 = 0,03 \text{ kg}$, also nach Gleichung 29 der größtmögliche Gegenschub der unbelasteten Bogenplatte auf 1 cm Länge

$$H'' = \frac{16 \cdot 3,2^2 (5 \cdot 4 - 6) + 3 \cdot 4 \cdot 0,03 \cdot 150^2}{3,2 (5 \cdot 4 - 6) + 24 \cdot 4 \cdot 15} = 7 \text{ kg}.$$

93.
Fachausfüllung
mit
Tonnenblechen.

Sind die Balkenfache mit Tonnenblechen ausgefüllt (Fig. 187 u. 188), so ist der wagrechte Zug, welcher sich in einem Bleche der vollen Belastung q , des Pfeiles f (Fig. 188) und der Weite (Trägertheilung) b entwickelt, $H' = \frac{qb^2}{8f}$, während

der Gegenzug des nur mit der Eigenlast g für die Einheit belasteten Nachbarbleches $H'' = \frac{gb^2}{8F}$ beträgt. Nach

H' könnte man nun das Blech der Dicke nach bemessen; jedoch ergeben sich so selbst bei flachen Pfeilen zu geringe Stärken. Die Bleche wurden früher mindestens

Fig. 187.

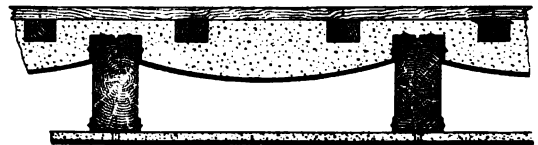
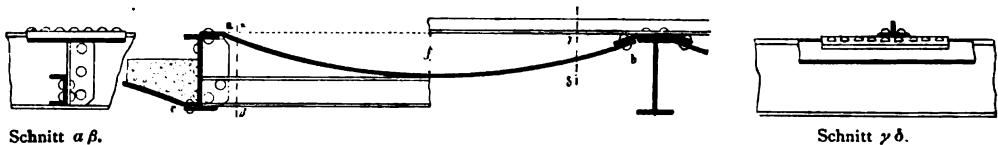
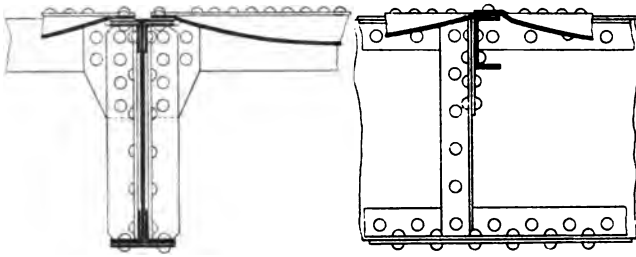


Fig. 188.



8 mm stark gemacht; nachdem durch die Verzinkung ein guter Schutz gegen Rosten geschaffen ist, geht man bis zu 4 mm herunter. Die übrigen Abmessungen der Bleche sind ziemlich beliebig; jedoch geht man in der Größe der einzelnen Bleche nicht gern über 4 qm hinaus; schmale und dünne Bleche sind erheblich kleiner. Werden die Bleche, was in der Regel geschieht, mit Beton überstampft, so kann man dessen Druckfestigkeit zum Ausgleich des wagrechten Zuges der Platte ausnutzen, so daß

Fig. 189.



ein solcher nie von einem Trägerfache auf das benachbarte übertragen wird.

Die Vernietung erfolgt nach den in Theil III, Band 1 (Abth. I, Abschn. 3, Kap. 2) dieses »Handbuches« gegebenen Regeln, und zwar ist der Nietberechnung für die

Längeneinheit des Bleches bei der Befestigung nach Fig. 188 bei a die Kraft H' , bei Befestigung nach Fig. 188 bei b die Kraft $\sqrt{H'^2 + \frac{q^2 b^2}{4}}$ zu Grunde zu legen.

Wenn die Balkenfache mit Buckelplatten überdeckt sind (siehe Fig. 189), so sind für die Stärkenabmessungen letzterer einfache Berechnungen wenig zuverlässig; man bestimmt ihre Tragfähigkeit am sichersten nach den Versuchsergebnissen, welche in der nachfolgenden Zusammenstellung angeführt sind. Die Randvernietung kann schwächer sein, als bei den Tonnenblechen.

94.
Fachausfüllung
mit
Buckelplatten.

Buckel-Platten von der Dillinger Hütte zu Dillingen a. d. Saar.

L = Länge, B = Breite der Platte, b = Breite des geraden Randes, h = Pfeil des Buckels (in Millim.), G das Gewicht (in Kilogr.).

Nr.	B	L	b	h	G = Gewicht für 1 Stück bei einer Blechstärke von								
					6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10 mm
1	1490	1490	78	130	104	112,5	121,5	130	139	147,5	156,5	165,5	173,5
2	1140	1140	40	85	61	66	71	76	81	86	91	96	101
3	1098	1098	40	75	56,5	61	66	70,5	76	81	85	90	94
4	1098	1098	78	78	56,5	61	66	70,5	76	81	85	90	94
5	1000	1000	60	72	47	51	54,5	58,5	62,5	66,5	70,5	74	78
6	750	750	60	45	26,5	28,5	30,5	33	35	37	39,5	41,5	44
7	500	500	60	27	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5
8	1630	1270	80	130	96,5	105	113	121,5	129,5	137,5	145,5	153,5	161,5
9	1100	770	55	80	39,5	43	46	49,5	53	56,5	59,5	63	76
10	1265	1265	80	100	75	81	87,5	94	100	106,5	112,5	118,5	124,5
Millim.					Kilogr.								

Bezeichnet P die zulässige gleichförmig vertheilte Belastung von 0,9 bis 1,0 m frei tragender Länge für 1 qm, G das Gewicht für 1 qm und d die Blechdicke, so ergeben sich die folgenden Zahlenbeziehungen:

d	G	P	d	G	P
2	14,8	560	5,0	38,8	3400
2,5	19,0	730	6,0	46,8	4900
3,0	23,2	1160	7,0	55,0	6300
4,0	31,0	2000	8,0	63,2	7700
Millim.		Kilogr.	Millim.		Kilogr.

Preis der Buckelplatten etwa 280 Mark für 1000 kg einchl. Verlegen.

95.
Fachausfüllung
mit
Wellblech.

Das Wellblech überdeckt schmale Räume ohne Träger (Fig. 190); über breiteren werden die Tafeln auf allen Trägern gestossen. Das Blech wirkt also stets als Träger auf zwei Stützen, und die Berechnung ist daher mit Hilfe der in den neben stehenden Tabellen angegebenen Wider-

standsmomente
($W = \frac{\mathcal{F}^{128}}{e}$)

leicht durchzuführen. Die gebräuchlichen Abmessungen der Blechtafeln gehen aus den Bemerkungen zu den Tabellen hervor.

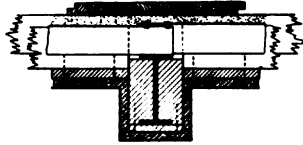
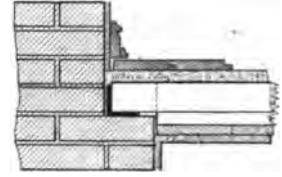
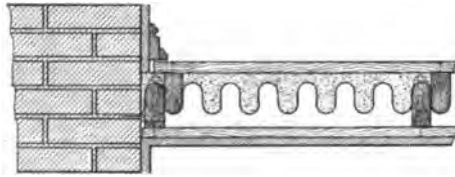


Fig. 190.



Da, wo das Widerstandsmoment einer Blechforte nur für $d = 1 \text{ mm}$ angegeben ist, erhält man die Widerstandsmomente anderer Blechstärken durch Veränderung der angegebenen Momentenzahl nach dem Verhältnisse der Blechstärke.

Die Längen der Tafeln werden in der Regel bis $4,0 \text{ m}$ und die Breiten bis $1,0 \text{ m}$ geliefert.

Die Tabellen zeigen, daß die Widerstandsmomente, welche größer als 92 sind, lediglich in Trägerwellblechen (siehe S. 106) erreicht werden und daß man also in einem solchen Falle zur Verwendung dieser gezwungen ist.

In Fällen, wo das erforderliche Widerstandsmoment kleiner als 90 ist, sind vergleichende Rechnungen zwischen beiden Arten zu empfehlen, da das flache Wellblech bei kleinerem Widerstandsmoment zugleich erheblich geringeres Gewicht hat, und daher unter Umständen das leichtere Ergebnis liefern kann.

Für beliebige flach gewellte Bleche ergibt sich das Trägheitsmoment für die wagrechte Mittelaxe und eine Wellenbreite b nach der Formel (Fig. 191)

$$\mathcal{F} = \frac{64}{105} (b_1 k_1^3 - b_2 k_2^3), \dots 30.$$

für welche die Maße b_1 , b_2 , k_1 und k_2 durch Auftragen einer Viertelwelle in großem Maßstabe oder auch durch Berechnung leicht zu ermitteln sind.

Werden die Balkenfache mit Wellblechbogen oder sog. bombirtem Wellblech ausgefüllt (siehe Fig. 192 rechts u. Fig. 193), so sind die Abmessungen, Gewichte und Widerstandsmomente der Wellbleche den Tabellen auf S. 106 zu entnehmen.

Es bezeichne mit Bezug auf Fig. 194: b die Bogenweite (Trägertheilung), k den Pfeil der Bogenmittellinie, g das Ge-

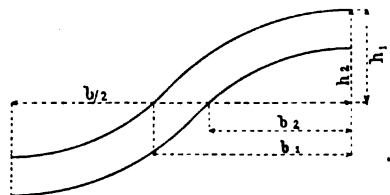
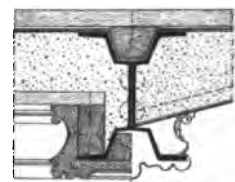


Fig. 191.

96.
Fachausfüllung
mit
Wellblech-
bogen.

Fig. 192.



128) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 299, S. 263; 2. Aufl. Art. 89, S. 66) dieses Handbuchs.

a) Flache Wellbleche.

Hein, Lehmann & Co. zu Berlin.

In den Dicken von 1 bis 36 der deutschen Lehre.

Nr.	δ	B	L	G	W'	Freitragende Länge (in Met.)				
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
						gleichf. verth. Belastung				
45	150	2,0	1,05	9,0	18,5	19	507	285	183	137
75	230	3,0	0,92	3,0	29	53	3120	1387	780	499
75	230	3,5	0,92	3,0	34	60	3600	1600	900	576
75	230	4,0	0,92	3,0	39	67	4080	1787	1005	643
75	230	4,5	0,92	3,0	44	73	4380	1947	1095	701
75	230	5,0	0,92	3,0	49	80	4800	2133	1200	768
75	230	5,5	0,92	3,0	54	86	5160	2293	1290	836
75	230	6,0	0,92	3,0	59	92	5580	2453	1380	883
	Millim.		Met.		Kg.	Kilogr.				

Preis des Wellbleches, einchl. Verlegen, etwa 200 Mark für 1000 kg.

Jacob Hilgers zu Rheinbrohl.

Nr. der Bleche	δ	G für 1 qm gedeckte Fläche, einchl. Ueberdeckungen				
		Profil I. $\delta = 120 \text{ mm}$ $k = 25$	Profil II. $\delta = 135 \text{ mm}$ $k = 30$	Profil III. $\delta = 150 \text{ mm}$ $k = 40$	Profil IV. $\delta = 150 \text{ mm}$ $k = 45$	Profil V. $\delta = 175 \text{ mm}$ $k = 55$
15	1,90	14,6	14,8	15,7	16,6	16,4
16	1,83	13,4	13,6	14,5	15,2	15,0
17	1,25	12,2	12,3	13,1	13,8	13,6
18	1,13	11,0	11,1	11,9	12,4	12,3
19	1,00	9,8	9,9	10,5	11,0	10,9
20	0,88	8,5	8,6	9,2	9,7	9,6
21	0,75	7,3	7,4	7,9	8,3	8,2
	Millim.	Kilogr.				

L. Fr. Buderus, Germania bei Neuwied.

Nr.	k	δ	d	G für 1 mm Dicke	L bis
Z	12	40	0,5-0,675	11	3,1
X	25	75	0,6-1,0	10,1	"
A	27	85	0,8-1,5	9,5	"
B	29	132	0,8-1,75	8,8	"
C	35	137	0,8-1,75	9,1	"
D	40	150	0,8-2	9,2	"
E	75	230	3-5	9,3	"
		Millim.		Kilogr.	Met.

δ Breite, k Höhe einer Welle, d Dicke des Bleches (in Millim.); B und L Breite und Länge (in Met.); bis zu welcher die Bleche geliefert werden; G Gewicht (in Kilogr.) für 1 qm; W' Widerstandsmoment (bezogen auf Centim.) für 1 m Breite; größte Beanspruchung des Eisens 750 kg für 1 qm. (In einigen Tabellen ist W' für die Breite δ einer Welle angegeben, was im Kopf der betreffenden Tabelle besonders bemerkt ist.)

Breß & Co. zu Berlin.
 L bis 4 m.

Nr.	δ	k	d	G	B	Nr.	δ	k	d	G	B
A	900	80	4	68	0,45	C	180	60	2	30	0,55
"	"	"	3	51	"	"	"	"	1,5	22,5	"
"	"	"	2	32	"	"	"	"	1	15	"
"	"	"	1	16	"	D	180	50	1	13	0,60
B	180	70	2	32	0,55	E	150	45	1	9	0,60
"	180	70	1,5	24	"	F	90	35	1	10	0,75
"	"	"	1	16	"						
		Millim.		Kilogr.	Met.		Millim.			Kilogr.	Met.

9) Trägerwellbleche.

Hein, Lehmann & Co. zu Berlin.

Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>G</i> für 1 qm bei 1 mm Stärke ca.	<i>W</i> für 1 m Breite bei 1 mm Stärke	Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i> für 1 qm bei 1 mm Stärke	<i>W</i> für 1 m Breite = 10 Wellen bei 1 mm Stärke
1	15	40	10,7	5,1	5a	50	100	1—2	12,5	17
2	20	40	12,6	7,6	6	60	100	1—2	14,1	25,2
3	15	50	9,3	4,7	7	70	100	1—3	15,7	33
4	25	50	12,6	9,3	8	80	100	1—5	17,3	40,5
5	30	60	12,6	11,7	9	90	100	1—5	18,9	48,4
	Millim.	Kilogr.			10	100	100	2—5	20,5	56,5
					11	110	100	2—5	22,1	68
						Millim.			Kilogr.	

L. Fr. Buderus, Germania b. Neuwied.

Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i> für 1 qm bei 1 mm Stärke	<i>W</i> für 1 m Stärke und die Breite <i>b</i>
0	45	90	1-1 1/2	12	1,550
I	50	90	"	13	1,885
II	55	90	"	14	2,105
III	60	90	"	15	2,440
VII	60	100	1—3	14,25	2,617
VIII	65	100	"	15	2,950
IX	70	100	2—3	15,8	3,330
X	75	100	"	16,6	3,600
XI	80	100	"	17,5	4,060
XVI	80	120	2—5	14,64	4,441
XVII	90	120	"	16,55	5,385
XVIII	100	120	"	17,50	6,383
	Millim.			Kilogr.	

Jacob Hilgers zu Rheinbrohl.

Nr. der deutschen Bleche	<i>d</i>	Gewicht für 1 qm ohne Ueberdeckung						
		Profil O. <i>b</i> = 90 mm <i>h</i> = 45 "	Profil A. <i>b</i> = 90 mm <i>h</i> = 50 "	Profil B. <i>b</i> = 90 mm <i>h</i> = 60 "	Profil C. <i>b</i> = 90 mm <i>h</i> = 70 "	Profil D. <i>b</i> = 100 mm <i>h</i> = 80 "	Profil E. <i>b</i> = 100 mm <i>h</i> = 90 "	Profil F. <i>b</i> = 100 mm <i>h</i> = 100 "
5	4	48	52	60	68	72	76	84
9	3	36	39	45	51	54	57	63
16	2	24	26	30	34	36	38	42
19	1	12	13	15	17	18	19	21
	Millim.							
					Kilogr.			

A. Kammerich & Co. zu Berlin.

Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite	Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite
1	10	30	0,5	6	1,850	19	80	100	1	17	40,500
2	15	30	1	12	5,583	20	80	100	1,5	25,5	60,400
3	20	30	1	13,5	8,800	21	80	100	2	34	80,000
4	25	40	1	13,8	10,700	22	80	100	2,5	42,5	99,600
5	30	40	1	15	14,350	23	80	100	3	51	118,600
6	45	90	1	12	17,267	24	80	100	4	68	156,500
7	45	90	1,5	18	25,633	25	90	100	2	37	96,800
8	45	90	2	24	33,844	26	90	100	2,5	46	120,630
9	50	90	1	13	20,389	27	90	100	3	55,5	144,040
10	50	90	1,5	19,5	30,355	28	90	100	4	74	190,200
11	50	90	2	26	40,069	29	100	100	2	40	115,220
12	60	90	1	15	27,166	30	100	100	3	60	171,000
13	60	90	1,5	22,5	40,533	31	100	100	4	80	225,800
14	60	90	2	30	53,610	32	100	100	5	100	279,800
15	70	90	1	16	34,777	33	100	130	2	33	98,333
16	70	90	1,5	24	51,888	34	100	130	3	49,5	146,189
17	70	90	2	32	68,722	35	100	130	4	66	199,181
18	70	90	2,5	40	85,366	36	100	130	5	82,5	239,400
	Millim.		kg				Millim.		kg		

L. Bernhard & Co. zu Berlin.

Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite	Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite
1	20	30	1	13,4	7,800	17	100	120	2	33	98,208
2	30	44	1	13,9	12,181	18	101	120	3	50	146,550
3	50	90	1	12,5	19,355	19	102	120	4	67	194,258
4	50,5	90	1,5	18,7	28,989	20	103	120	5	84	241,600
5	60	90	1	14	25,966	21	120	140	3	50	176,986
6	60,5	90	1,5	21,1	33,233	22	121	140	4	63	235,392
7	61	90	2	28,4	51,289	23	122	140	5	84,7	299,985
8	70	90	1	15,6	33,844	24	123	140	6	102,5	350,088
9	71	90	2	31,6	66,111	25	150	160	3	54,2	237,569
10	72	90	3	48	98,378	26	151	160	4	72,6	315,556
11	80	100	1	16	39,070	27	152	160	5	91,2	393,075
12	81	100	2	32,4	77,410	28	153	160	6	109	470,000
13	82	100	3	49	114,910	29	200	200	3	57,4	358,440
14	90	100	2	35	92,210	30	201	200	4	77	445,215
15	91	100	3	53	137,110	31	202	200	5	96,5	554,935
16	92	100	4	71	182,400	32	203	200	6	116,3	664,045
	Millim.		kg				Millim.		kg		

Pfeiffer & Druckenmüller zu Berlin.

Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite	Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite
DE 8	70	90	2	32	68,000	E 4	60	90	1	15	26,800
" 6	70	90	1,5	24	51,100	F 4	50	90	1	13	21,000
" 4	70	90	1	16	34,300	G 4	45	90	1	12	17,000
E 8	60	90	2	30	53,000	" 3	45	90	0,76	9-10	12,750
" 6	60	90	1,5	23	36,900						
1	50	100	1	12	17,000	18	80	100	3	52	120,000
2	60	100	1	14	25,200	19	90	100	3	55	144,000
3	70	100	1	16	33,400	20	120	100	2	47	152,500
4	60	100	1 1/2	21	37,800	21	80	100	4	71	160,000
5	80	100	1	17	40,000	22	100	100	3	61	169,200
6	90	100	1	18	48,000	23	90	100	4	76	182,000
7	60	100	2	29	50,100	24	140	100	2	52	199,600
8	70	100	1 1/2	23,5	50,500	25	80	100	5	90	200,000
9	100	100	1	20	56,400	26	100	100	4	81	225,600
10	80	100	1 1/2	25,5	60,000	27	120	100	3	70	228,800
11	70	100	2	31	67,000	28	90	100	5	96	230,000
12	90	100	1 1/2	28	72,000	29	100	100	5	101	282,000
13	80	100	2	35	80,000	30	140	100	3	78	299,100
14	100	100	1 1/2	30	84,000	31	120	100	4	94	305,000
15	90	100	2	38	96,000	32	120	100	5	118	381,000
16	70	100	3	48	101,100	33	140	100	4	106	399,200
17	100	100	2	40	112,800	34	140	100	5	133	499,000
	Millim.			kg			Millim.			kg	

Breeß & Co. zu Berlin.

Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite	Nr.	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>G</i>	<i>W</i> für 1 m Breite
1	100	130	4	66	244,00	2	80	110	1	16	40,14
"	100	130	3	49	183,00	3	70	90	2	34	60,68
"	100	130	2	33	122,00	"	70	90	1,5	25,5	45,49
1a	100	100	3	61	169,20	"	70	90	1	17	30,30
"	100	100	2	40	112,80	4	60	90	2	30	47,71
1b	90	100	2	37	96,80	"	60	90	1,5	22,5	35,67
"	90	100	1,5	27,5	73,00	"	60	90	1	15	23,61
"	80	110	4	63	160,56	5	50	90	1	13	17,61
"	80	110	3	47	120,42	6	45	90	1	12	14,87
"	80	110	2	32	80,32	7	30	90	1	15,5	6,02
"	80	110	1,5	24	60,26	8	20	90	1	14,5	2,74
	Millim.			kg			Millim.			kg	

Flächeneinheit, M das ungünstigste Bieugungsmoment bei einseitiger Belaftung, H' den wagrechten Bogenschub bei voller Belaftung, H'' den größtmöglichen Gegenschub des unbelasteten Bogens, H''' den

bei ungünstigster einseitiger Belastung und s die zulässige größte Beanspruchung auf 1 cm^2 des Blechquerschnittes. Alsdann ist

$$M = 0,01615 pb^2; \dots \dots \dots 32.$$

$$V = (0_{,2676} g + 0_{,16} p) b; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 34.$$

[illegible]

Die größte im Bleche vorkommende Beanspruchung ist

$$\sigma_2 = \frac{Me}{J} - \frac{D}{F} \text{ (Zug)} 38.$$

Digitized by Google

des unbelasteten Bogens höchstens gleich dem Schube H' (Gleichung 31) des belasteten Bogens gesetzt werden.

Beispiel. Ein ($b =$) 3,0 m weiter Bogen von ($h =$) 0,25 m Pfeil ist mit magerem Backstein-Beton durchschnittlich 0,25 m hoch überschüttet und trägt 0,025 m Cement-Estrich. Der erstere wiegt 1600 kg, der letztere 2500 kg für 1 cbm; also ist $g = 0,25 \cdot 1600 + 0,025 \cdot 2500 = 481$ kg, und mit dem Gewichte des Bleches wird $g = 450$ kg gesetzt. Die Nutzlast beträgt ($p =$) 700 kg für 1 qm. Es ist dann nach Gleichung 31

$$H' = \frac{(700 + 450) 3^2}{8 \cdot 0,25} = 5175 \text{ kg};$$

nach Gleichung 32

$$M = 0,01615 \cdot 700 \cdot 3^2 = 101,75 \text{ mkg};$$

ferner nach Gleichung 33

$$H''' = \frac{(450 + 0,6 \cdot 700) 3^2}{8 \cdot 0,25} = 3915 \text{ kg};$$

weiter nach Gleichung 34

$$V = (0,2676 \cdot 450 + 0,16 \cdot 700) 3 = 696 \text{ kg};$$

endlich nach Gleichung 35

$$D = \sqrt{696^2 + 3915^2} = 3976 \text{ kg}.$$

Wird nun Trägerwellblech von *Hein, Lehmann & Co.* Nr. 6 (siehe die betreffende Tabelle auf S. 106) unterfucht, so ist für dieses bei 1 mm Stärke für Meter als Einheit $\frac{\gamma}{e} = W = \frac{25,2}{100 \cdot 100 \cdot 100} = 0,0000252$. Der Querschnitt für 1 m Breite ergibt sich bei dem Eisengewichte von 7800 kg für 1 cbm aus dem Blechgewichte von 14,1 kg für 1 qm mit $\frac{14,1}{7800} = 0,0018$ qm.

Nach Gleichung 37 ist demnach der größte Druck

$$\sigma_1 = \frac{101,75}{0,0000252} + \frac{3976}{0,0018} = 6247200 \text{ kg auf 1 qm},$$

und nach Gleichung 38 der größte Zug

$$\sigma_2 = \frac{101,75}{0,0000252} - \frac{3976}{0,0018} = 1828200 \text{ kg auf 1 qm}.$$

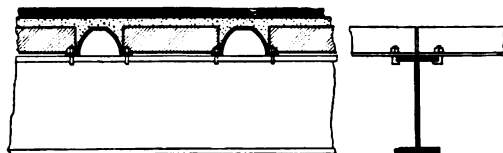
Wegen der starken Spannungsschwankung in einer und derselben Fafer ist das Blech trotz der niedrigen Beanspruchung nicht als zu stark zu bezeichnen. Der größtmögliche Gegenschub des Blechbogens ist nach Gleichung 36

$$H'' = \frac{7000000 + \frac{450 \cdot 3^2}{8 \cdot 0,0000252}}{\frac{1}{0,0018} + \frac{0,25}{0,0000252}} = 2490 \text{ kg für 1 m Länge}.$$

97.
Fachausfüllung
mit
Belageisen.

Sollen die Balkenfache mit Belageisen ausgefüllt werden (Fig. 195), so werden letztere zweckmäßig auf allen Trägern gestossen, damit aus der Continuität nicht Ueberlastungen einzelner Träger entstehen. Will man jedoch die Vortheile der Continuität für die Belageisen ausnutzen, so muß man die Träger den vergrößerten Auflagerdrücken des continuirlichen Belageisens entsprechend bemessen. In der Regel ist es also nur nöthig, das Gewicht der Ueberfüllung genau zu ermitteln und nach diesem, so wie der Nutzlast die Belageisen als Träger auf zwei Stützen zu berechnen. Für die Zwecke des Hochbaues wird es in fast allen Fällen genügen, zur Deckung der Zwischenräume zwischen den Belageisen quer oder höchstens lang gelegte Flachziegel zu verwenden. Sicherer ist die Ausfüllung mit Beton, wobei man jedoch zum Einbringen kleiner Schalungen zwischen den Belageisen bedarf.

Fig. 195.



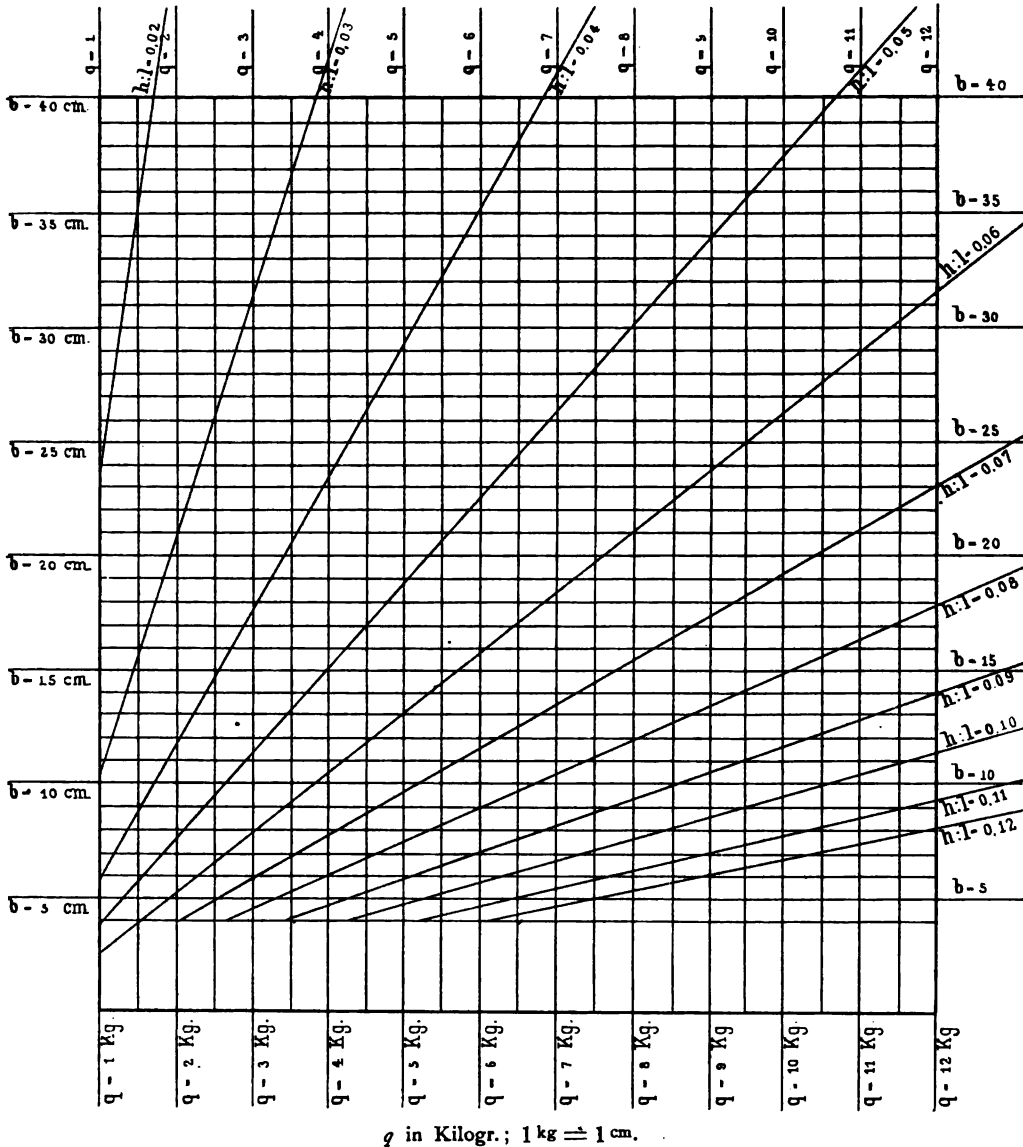
3) Querschnittsermittlung für Balken und Träger.

Holzbalken haben ausschließlich rechteckigen Querschnitt, und zwar — mit Rücksicht auf vorteilhafteste Gewinnung aus dem runden Stamme — des Seitenverhältnisses 5 : 7 ¹²⁹⁾.

98.
Hölzerne
Balken.

Die Berechnung ¹³⁰⁾ erfolgt etwas zu sicher für die größte Stützweite jedes

Fig. 196.



Balkens bei 80 kg zulässiger Beanspruchung als Träger auf zwei Stützen. Alle hierher gehörenden Berechnungen können durch Benutzung der Auftragung in Fig. 196 um-

¹²⁹⁾ Siehe Theil III, Band 1 (Art. 156, S. 110; 2. Aufl.: Art. 15, S. 114) dieses Handbuchs.

¹³⁰⁾ Angaben über die Eigengewichte hölzerner Balken finden sich in einer Tabelle in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 318; 2. Aufl.: S. 17) dieses Handbuchs.

gangen werden ¹³¹⁾. Es bezeichnet dort b die Breite, l die größte Stützweite, h die Höhe eines Balkens (in Centim.) und q die Gesamtbelastung für 1 lauf. Centim.

Beispiel 1. Ein Balken ist für 5,8 m Stützweite bei 1,05 m Fachtheilung zu berechnen; die Eigenlast der Decke (halber Windelboden) beträgt 300 kg und die Nutzlast 250 kg für 1 qm. Die Last für 1 cm ist demnach $q = \frac{1,05(300 + 250)}{100} = 5,8$ kg. Wird die Breite versuchsweise mit 22 cm angenommen, so führen die Coordinaten $q = 5,8$ und $b = 22$ zu der schrägen Transversalen $h : l = 0,08$, und es muß also $h = 0,08 \cdot 550 = 27,8$ cm sein, ein geeignetes Verhältniß. Hätte sich eine ungeeignet erscheinende Höhe ergeben, so hätte man ohne Mühe durch Aenderung der Ordinate b ein besseres Verhältniß finden können.

Beispiel 2. Eine Decke, welche im Ganzen 400 kg auf 1 qm zu tragen hat, soll bei 4,5 m Stützweite aus Balken von $b = 20$ und $h = 25$ cm hergestellt werden; wie darf die Balkentheilung gewählt werden? Es ist $h : l = \frac{25}{450} = 0,055$. Man suche den Schnitt der Transversalen $0,055 = h : l$ mit der Wagrechten durch $b = 20$ cm; alsdann schneidet dieser die Abscisse $q = 6,5$ kg ab, und die zulässige Balkentheilung d folgt dann aus $\frac{d \cdot 400}{100} = 6,5$ mit $d = 1,625$ m.

Beispiel 3. Wie weit kann sich ein Balken von $b = 15$ und $h = 25$ cm bei 1,1 m Fachtheilung unter 500 kg Belastung für 1 qm frei tragen? Es ist $q = \frac{1,1 \cdot 500}{100} = 5,5$ kg; die Coordinaten $q = 5,5$ und $b = 15$ geben die Transversale $h : l = 0,058$; also kann $l = \frac{25}{0,058} = 430$ cm sein.

Eine bequeme Formel zur Berechnung von Holzbalken ist die folgende. Es bezeichnet q die Gesamtlast für 1 qm Deckenfläche (in Kilogr.), b die Breite und h die Höhe eines Balkens (in Centim.), d die Theilung der Balken von Mitte zu Mitte (in Centim.), l die Stützweite des Balkens. Als dann findet statt

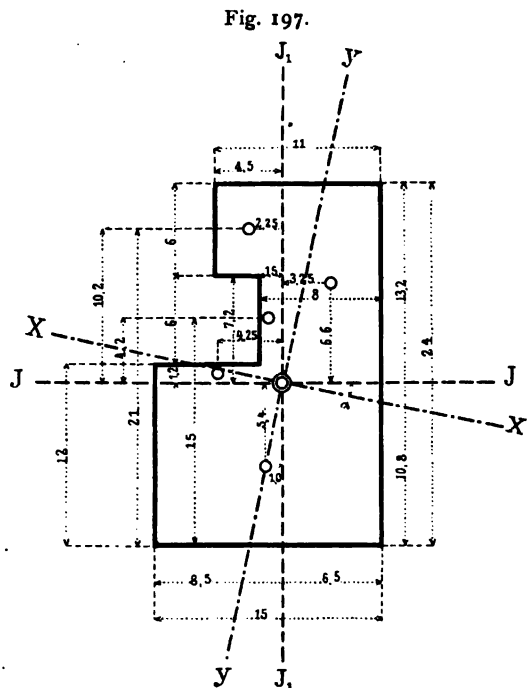
$$h = 0,000968 \, l \sqrt{q \frac{d}{b}}, \quad \dots \dots \dots 39.$$

worin für gewöhnliche Verhältnisse $\frac{d}{b}$ zwischen 5 und 6 liegen wird.

Beispiel. Soll eine Decke aus 5 m freitragenden Balken auf 1 qm 500 kg tragen, und wird zunächst $\frac{d}{b} = 5$ angenommen, so ist

$h = 0,000968 \cdot 500 \sqrt{500 \cdot 5} = 24,2$ cm zu machen. Dabei kann dann nach Belieben, entsprechend $\frac{d}{b} = 5$, $d = 100$ cm und $b = 20$ cm oder $d = 90$ cm und $b = 18$ cm oder $d = 80$ cm und $b = 16$ cm gewählt werden.

Hiernach bleibt nur noch anzugeben, wie die Spannungen in einem durch den Brustzapfen eines Wechfels geschwächten Balkenquerschnitte zu ermitteln sind. Es soll dies gleich an einem Beispiele vorgeführt werden, welches die Auflagerung des mit 5 bezeichneten ausgewechselten Balkens der Gruppe A in Fig. 37 (S. 30) auf den Wechsel an der Wand zum Gegenstande hat.



¹³¹⁾ Vergl. auch: GARTEN. Diagramm zur Bestimmung der Querschnitte hölzerner Balken. Deutsche Bauz. 1887, S. 342.

Die Decke hat 400 kg zu tragen und 0,75 m Balkenthellung; also ist $q = 3 \text{ kg}$ und bei $b = 15 \text{ cm}$, $l = 5,45 \text{ m}$ ergibt die Auflagerung in Fig. 196 $h : l = 0,045$, also $h = 0,045 \cdot 545 = 23,5 = \text{rund } 24 \text{ cm}$. Der Wechsel soll aus einem Abschnitte desselben Holzes hergestellt werden. Die Last, welche er vom Balken in seiner Mitte erhält, ist $545 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} = \text{rund } 820 \text{ kg}$; seine Stützweite von Balkenmitte bis Balkenmitte beträgt $2 \cdot 75 = 150 \text{ cm}$, folglich das Angriffsmoment $M = \frac{820}{2} \cdot \frac{150}{2} = 80750 \text{ cmkg}$.

Der Brutzapfen im Wechsel wird nach Fig. 197 ausgeführt. Vom bleibenden Querschnitte ist zuerst der Schwerpunkt zu suchen. Dieser steht ab

von der Unterkante:
$$\frac{11 \cdot 6 \cdot 21 + 8 \cdot 6 \cdot 15 + 12 \cdot 15 \cdot 6}{11 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + 12 \cdot 15} = 10,8 \text{ cm};$$

von der rechten Kante:
$$\frac{11 \cdot 6 \cdot 5,5 + 8 \cdot 6 \cdot 4 + 12 \cdot 15 \cdot 7,5}{11 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + 12 \cdot 15} = 6,5 \text{ cm}.$$

Demnach ist das Trägheitsmoment für die wagrechte Schwerpunktsaxe

$$J = 11 \frac{13,2^3 - 7,2^3}{3} + 8 \frac{7,2^3 - 1,2^3}{3} + 15 \frac{1,2^3 + 10,8^3}{3} = 14360;$$

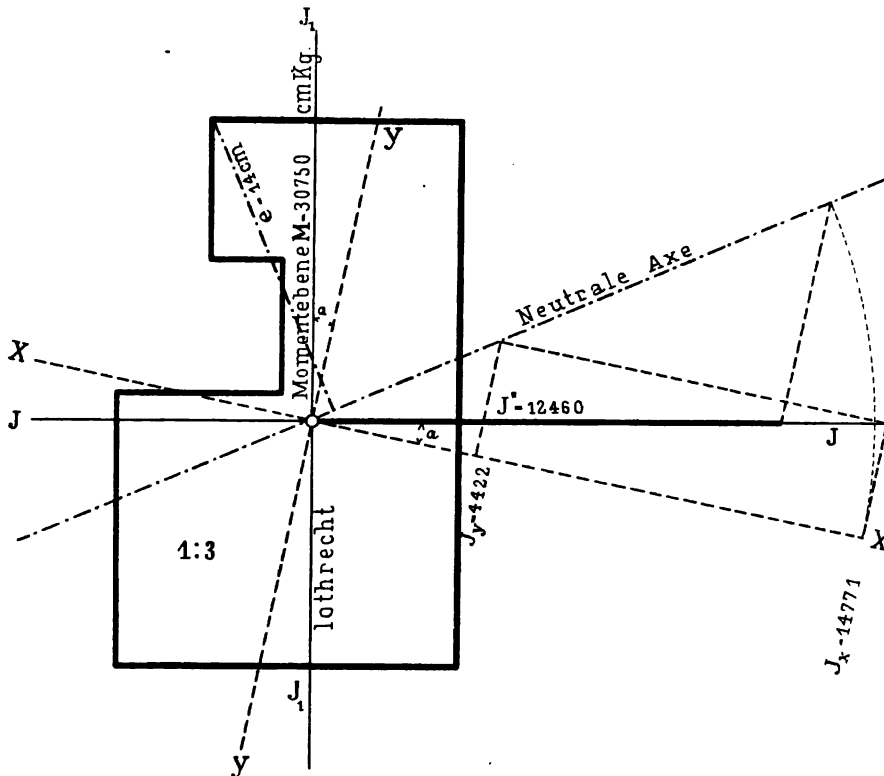
für die lothrechte Schwerpunktsaxe

$$J_1 = 12 \frac{6,5^3 + 8,5^3}{3} + 6 \frac{1,5^3 + 6,5^3 + 4,5^3 + 6,5^3}{3} = 4842.$$

Das Centrifugalmoment $H^{(132)}$ ist

$$H = 13,2 \cdot 6,5 \cdot 8,25 \cdot 6,6 - 6 \cdot 4,5 \cdot 2,25 \cdot 10,2 - 6 \cdot 1,5 \cdot 4,2 \cdot \frac{1,5}{2} - 1,2 \cdot 8,5 \cdot 4,25 \cdot \frac{1,2}{2} + 15 \cdot 10,8 \cdot 1,0 \cdot 5,4 = + 2044.$$

Fig. 198.



¹³²⁾ Vergl. Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 269; 2. Aufl.: S. 39) dieses »Handbuches«.

Demnach folgt der Winkel α , welchen die erste Trägheitshauptaxe X mit der Axe \mathcal{Y} bildet ¹³³⁾ aus

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot 2044}{4842 - 14360} = \frac{2H}{\mathcal{Y}_1 - \mathcal{Y}}.$$

Daraus ergibt sich $\alpha = -11^\circ 37' 21''$, ferner

$$\sin 2\alpha = -0,3946, \quad \sin^2 \alpha = 0,0406, \quad \cos^2 \alpha = 0,9594,$$

und schliesslich ¹³¹⁾

$$\mathcal{Y}_x = \mathcal{Y} \cos^2 \alpha + \mathcal{Y}_1 \sin^2 \alpha - H \sin 2\alpha = 14360 \cdot 0,9594 + 4842 \cdot 0,0406 + 2044 \cdot 0,3946 = 14771,$$

$$\mathcal{Y}_y = \mathcal{Y} \sin^2 \alpha + \mathcal{Y}_1 \cos^2 \alpha + H \sin 2\alpha = 14360 \cdot 0,0406 + 4842 \cdot 0,9594 + 2044 \cdot 0,3946 = 4422.$$

In Fig. 198 ist auf Grund dieser Werthe die Berechnung der größten Spannung der gefährdetsten Ecke am Brustzapfen durchgeführt.

Die neutrale Axe ergibt sich, wenn man die Ebene \mathcal{Y} (Fig. 198) (hier wagrecht) mit dem Winkel α gegen die X -Axe fest legt, um den die Momentenebene (hier lothrecht) von der Y -Axe absteht, dann vom Schwerpunkte aus $\mathcal{Y}_x = 14771$ und $\mathcal{Y}_y = 4422$ in irgend einem Maassstabe auf der X -Axe absetzt und in beiden Punkten die Winkelrechte zur X -Axe zieht. Trägt man dann den Abschnitt auf der Winkelrechten in \mathcal{Y}_x im Winkel α auf der Winkelrechten in \mathcal{Y}_y auf und verbindet diesen Punkt mit dem Schwerpunkte, so erhält man die neutrale Axe.

Man bestimme nun den Abstand e des am entferntesten von der neutralen Axe liegenden Punktes (Fig. 198), hier $e = 14$ cm, übertrage \mathcal{Y}_x auf die neutrale Axe und ziehe von da die Winkelrechte zur X -Axe; diese schneidet auf der den Winkel α mit der X -Axe einschliessenden Geraden \mathcal{Y} dann einen Werth \mathcal{Y}'' (hier $\mathcal{Y}'' = 12460$) ab, welcher mit e und M die ungünstigste Spannung nach der Gleichung

$$\sigma = \frac{M e}{\mathcal{Y}} = \frac{30750 \cdot 14}{12460} = 34,5 \text{ kg} \dots \dots \dots 40.$$

ergibt. Der Wechsel ist also trotz der Schwächung reichlich stark. Hierbei ist das Verdrehungsmoment, welches sich aus der Lagerung des Balkenendes ausserhalb des Schwerpunktes ergibt, vernachlässigt.

Nach diesem Verfahren lassen sich alle geschwächten Balken behandeln, mag die übrig bleibende Querschnittsform sein, welche sie will. Auch wenn der Balken bei der Auswölbung nach Fig. 199 und Belastung nur einer der anschliessenden Kappen neben den Lasten durch wagrechte Kräfte beansprucht wird, ist dasselbe Verfahren am Platze; derartige Fälle werden bei der Auswölbung eiserner Träger ausführlich behandelt werden.

Fig. 199.



Eiserne Träger werden in den Hochbau immer mehr als Ersatz für die Holzbalken eingeführt.

Eine für gewöhnliche Fälle häufig verwendete Trägerform ist die alte Eisenbahnschiene, welche sich durch besonders niedrigen Preis empfiehlt. Das Widerstandsmoment $\frac{\mathcal{Y}}{e}$ abgenutzter neuerer Profile von der Höhe h (in Centim.) kann $\frac{\mathcal{Y}}{e} = 0,06 h^3$ gesetzt werden. Der Vortheil der Billigkeit wird jedoch zum Theile dadurch aufgehoben, dass man das oft sehr beschädigte Eisen nicht so hoch beanspruchen darf, wie neue Träger, und zwar höchstens mit 700 kg für 1 qcm.

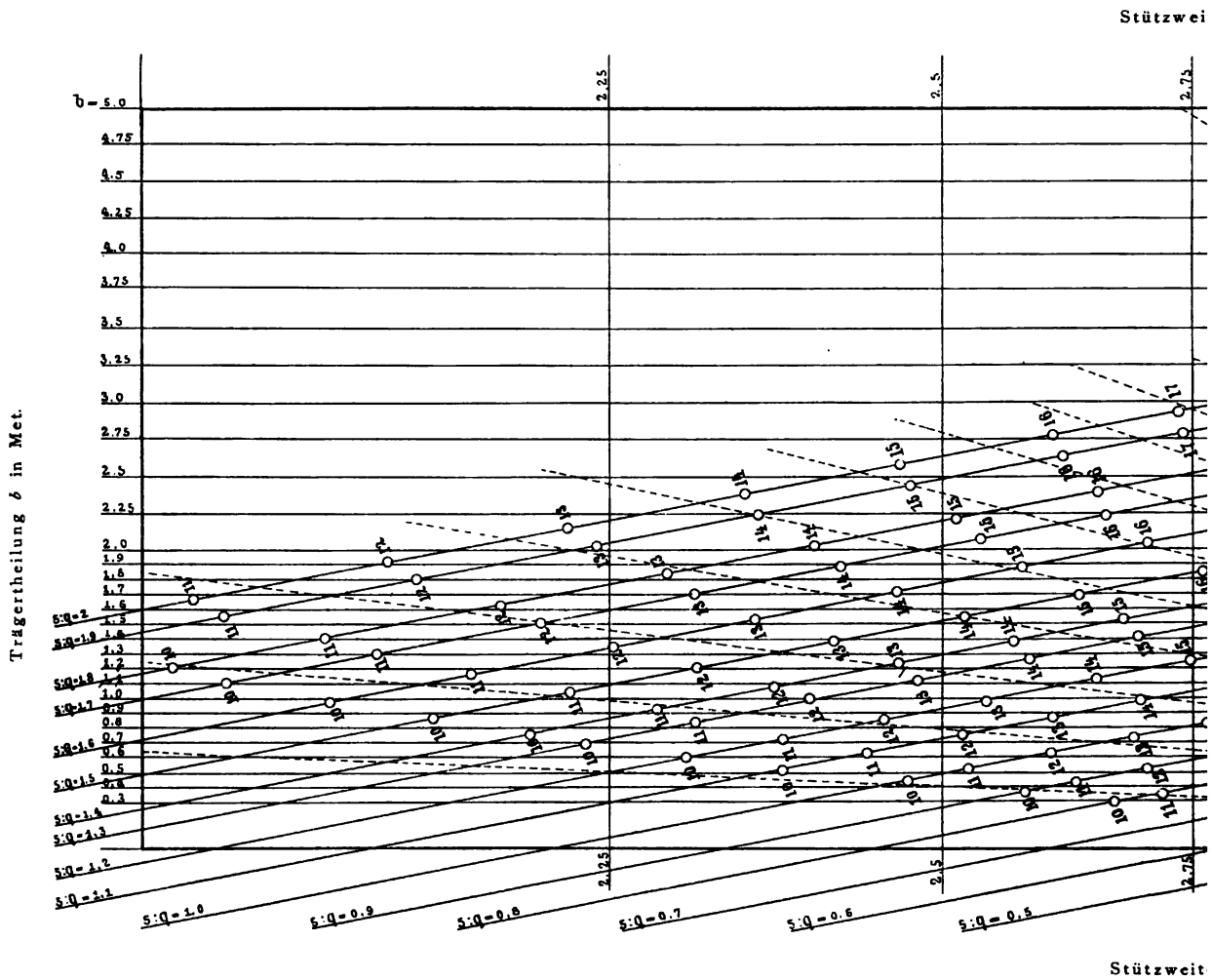
Für gute Ausführungen ist wegen der Unsicherheit des Materials in alten Schienen die Verwendung neuer Träger zu empfehlen. Fast ausschliesslich kommen hier I-Träger, sonst von gewalzten Trägern Z- und C-Profilen ¹³⁵⁾, dann zusammengesetzte Blech- und Gitterträger ¹³⁶⁾ und schliesslich besondere Trägerformen für be-

¹³³⁾ Nach Gleichung 46, S. 269 (2. Aufl.: Gleichung 24, S. 39) ebendaf.

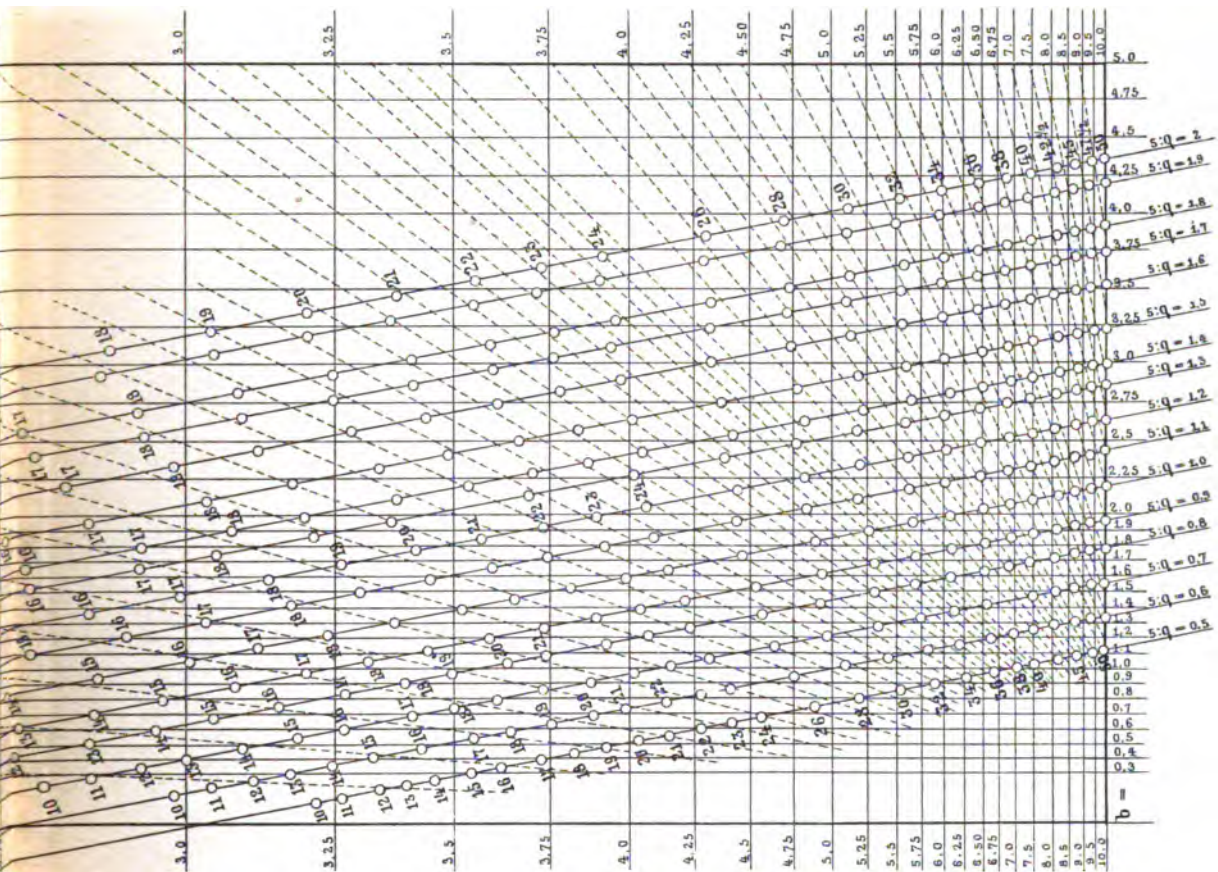
¹³⁴⁾ Nach Gleichung 45, S. 269 (2. Aufl.: Gleichung 22, S. 39) ebendaf.

¹³⁵⁾ Siehe die betreffenden Tabellen in Theil I, Band 1, erste Hälfte (S. 197 u. 198) dieses „Handbuches“.

¹³⁶⁾ Siehe Theil III, Band 1 (Abth. I, Abschn. 3, Kap. 7) dieses „Handbuches“.



**Zeichnerische Darstellu
für die Untersuchung ihrer Tragfä**

ite l in Met.ite l in Met.

ing der Normal-I-Eisen
 igkeit unter lothrechter Belastung.

Fig. 200.

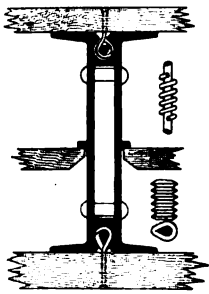


Fig. 201.

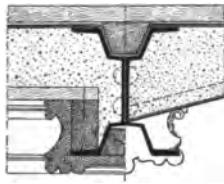
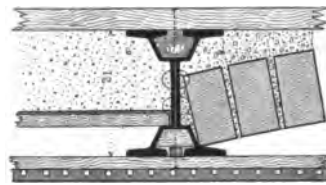


Fig. 202.



stimmte Zwecke, namentlich Erzielung größerer Seitensteifigkeit, wie der von *Gocht* (Fig. 200), der von *Klette* (Fig. 201 u. 202) und der mit *Lindsay*-Eisen (Fig. 203 u. 204) unten oder oben und unten verstärkte I-Träger zur Verwendung.

Sind die Träger nur lothrecht belastet, so sind die größten Biegemomente für die nach dem früher Gefagten meist verwendeten Träger auf zwei Stützen leicht zu ermitteln.

Fig. 203.

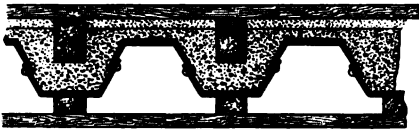
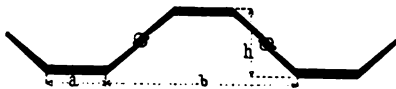


Fig. 204.



Die deutschen Normal-Profile für I-Eisen können mit Hilfe der neben stehenden Tafel berechnet werden. In derselben bedeutet b die Theilung der Deckenträger (in Met.), l die Stützweite (in Met.), g die gesammte Deckenbelastung für 1 qm (in Kilogr.) und s die zulässige Beanspruchung des Trägerquerschnittes (in Kilogr. auf 1 qcm). Die Coordinaten l und b führen durch ihren Schnittpunkt zu oder in die Nähe einer der punktierten schrägen Leitlinien, die man bis zum Schnitte mit derjenigen ausgezogenen, von rechts nach links fallenden, schrägen Transversalen verfolge, welche zu dem dem vorliegenden Falle entsprechenden Verhältnisse $s:q$ gehört. Die Nummer der kleinen Null, welche auf der ausgezogenen Transversalen $s:q$ zunächst rechts von der gestrichelten Leitlinie liegt, ist diejenige des zu verwendenden I-Normal-Profiles¹²⁷⁾.

Beispiel 1. Es soll der dem Beispiele in Art. 96 (S. 108) für Wellblechbogen entsprechende Träger, vorläufig ohne Rücksicht auf die seitlichen Beanspruchungen, ermittelt werden, und zwar für 5,3 m Stützweite. Es war $q = p + g = 1150$ kg; die Weite der Fache $b = 3,0$ m; die zulässige Beanspruchung sei $s = 1100$ kg für 1 qcm; also $s:q = 1100:1150 = 0,95$.

Verfolgt man in der neben stehenden Tafel die dem Coordinatenschnitte $l = 5,3$ und $b = 3$ nächst liegende gestrichelte Leitlinie bis zu der $s:q = 0,95$ entsprechenden (zu interpolirenden) Transversalen, so liegt auf letzterer zunächst rechts von der Leitlinie der dem Querschnitt Nr. 36 entsprechende kleine Kreis; der Querschnitt dieser Nummer ist zu verwenden. Dieser Träger bedarf jedoch noch der Prüfung auf Widerstandsfähigkeit gegen seitliche Beanspruchung, welche für einen ähnlichen Fall weiter unten durchgeführt wird.

Beispiel 2. Das Eigengewicht einer 6 m frei tragenden, mit Beton ausgewölbten Decke beträgt 400 kg und die Nutzlast 400 kg für 1 qm; demnach ist $q = 800$ kg. Wie weit dürfen Träger des Profils Nr. 28 aus einander gelegt werden, wenn die Beanspruchung für 1 qcm 1000 kg betragen soll?

Es ist $s:q = 1000:800 = 1,25$. Die gestrichelte Leitlinie, welche zunächst links von Nr. 28 auf der Transversalen $s:q = 1,25$ fest gelegt wird, schneidet die Abscisse $l = 6,0$ m bei der Ordinate $b = 1,34$ m; so weit dürfen die Träger also von einander entfernt liegen.

Beispiel 3. Wie weit können sich 1,0 m von einander liegende Träger Nr. 26 bei 1050 kg Beanspruchung unter 900 kg Nutzlast für 1 qm frei tragen?

Es ist $s:q = 1050:900 = 1,18$. Die $s:q = 1,18$ und Nr. 26 entsprechende gestrichelte Leitlinie schneidet auf der Ordinate $b = 1,0$ die Abscisse $l = 6,0$ m ab.

100.
Berechnung
lothrecht
belasteter
Träger.

¹²⁷⁾ Siehe die betreffende Tabelle in Theil I, Band 1, erste Hälfte (S. 198) dieses Handbuchs.
Handbuch der Architektur. III. 2, c.

Bei diesen Berechnungen mittels der vorstehenden Tafel kann die Eisenbahnschiene von 13 cm Höhe bezüglich des Widerstandsmomentes dem Normal-Profil Nr. 17 gleich gesetzt werden. Ihre Beanspruchung soll jedoch nur 700 kg für 1 qm betragen, während man diejenige neuer Träger unter stark bewegten Lasten bis 1000 kg, unter mäßig bewegten bis 1200 kg, unter ganz ruhenden, stetigen Lasten bis 1500 kg für 1 qm steigern kann. Nur bei großen Profilen, etwa von Nr. 40 an, empfiehlt sich eine um 15 Procent ermäßigte Annahme der Spannungen.

Ueber die Berechnung der Blech- und der Gitterträger ist in Theil III, Band I (Abth. I, Abchn. 1, Kap. 7) das Erforderliche zu finden.

101.
Berechnung
von
Trägern
mit
Seitenschüben.

Wenn die Träger auch wagrechten Kräften ausgesetzt sind¹⁸⁸⁾, so entstehen vorwiegend aus den Schüben von Auswölbungen und Wellblechbogen, so wie aus den Zügen von Tonnenblechen, welche sich bei Belastung nur eines anschließenden Faches nicht vollkommen ausgleichen, sondern einen nach der Seite des unbelasteten Faches gerichteten Schub von der Gröfse $H' - H''$ (vergl. die Gleichungen 4 u. 5 [S. 96], 8 u. 9 [S. 97], 27 [S. 101], 29 [S. 102], 31 u. 36 [S. 107]), bzw. einen nach der Seite des belasteten Faches gerichteten Zug von der Gröfse $H' - H'' = \frac{(q - g) \delta^2}{8h}$ (vergl. Art. 93, S. 102) ergeben, schräge Belastungen der Träger, welche diese ganz besonders ungünstig beanspruchen.

Beispiel. Als Beispiel sollen hier die Träger einer Decke nach Fig. 205, bzw. 206 durchgerechnet werden. Für die Fachfüllung kommt Gleichung 6 (S. 97) zur Anwendung. Es sei die Länge der

Fig. 205.

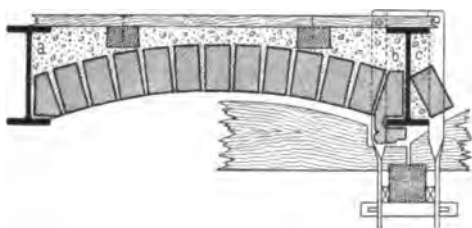
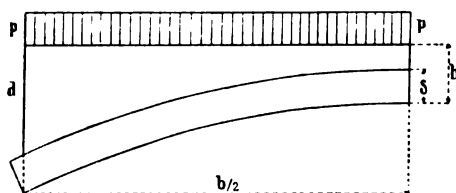


Fig. 206.



Träger ($l =$) 5,5 m, die Theilung ($b =$) 1,7 m, $\delta = 0,12$ m, $h = 0,20$ m, γ für Backsteine 1700 kg, $p = 750$ kg und mit Rücksicht auf Stöße für Backstein $s = 50000$ kg für 1 qm. Demnach ist nach Gleichung 6 (S. 97)

$$d = \frac{8 \cdot 50000 \cdot 0,12 (3 \cdot 0,2 - 0,12) + 1,7^2 (6 \cdot 750 + 5 \cdot 1700 \cdot 0,2)}{24 \cdot 0,12 \cdot 50000 - 1700 \cdot 1,7^2} = 0,298 = \text{rund } 0,3 \text{ m.}$$

Das Gewicht für 1 m dieser Kappe ist nach Gleichung 20 (S. 99)

$$\begin{aligned} G &= \frac{1}{3} \cdot 1700 \cdot 1,7 (0,3 + 2 \cdot 0,2) \dots = 675,0 \text{ kg,} \\ 3 \text{ cm Cement-Estrich } 1 \cdot 1,7 \cdot 0,03 \cdot 2500 \dots &= 128,3 \text{ „,} \\ 1 \text{ lauf. Meter Träger schätzungsweise } \dots &= 96,5 \text{ „,} \\ &\text{zusammen } 900,0 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Das Gewicht g für 1 qm ist somit $\frac{900}{1,7} = \text{rund } 530 \text{ kg.}$

Der Schub der voll belasteten Kappe ist nach Gleichung 8 (S. 97)

$$H' = 0,5 \cdot 50000 \cdot 0,12 = 3000 \text{ kg für 1 m Trägerlänge}$$

und der größte Gegenschub der unbelasteten Kappe nach Gleichung 9 (S. 97)

$$H'' = 0,125 \left[\sqrt{9 \cdot 50000^2 (0,3 - 0,2 - 0,12)^2 + 1700 \cdot 50000 \cdot 1,7^2 (0,3 + 5 \cdot 0,2)} - 3 \cdot 50000 (0,3 - 0,2 - 0,12) \right],$$

$$H'' = 2640 \text{ kg.}$$

Die wagrechte Belastung eines zwischen einer belasteten und einer unbelasteten Kappe liegenden Trägers ist somit

$$\frac{H' - H''}{100} = \frac{3000 - 2640}{100} = 3,6 \text{ kg für 1 cm.}$$

¹⁸⁸⁾ Vergl. hierüber auch: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 393.

Die größte lothrechte Belastung eines Trägers tritt für volle Last beider anschließenden Kappen ein; sie beträgt für 1 qm der Decke $750 + 530 = 1280$ kg.

Die lothrechte Belastung eines Trägers zwischen belasteter und unbelasteter Kappe ist

$$\frac{900 + \frac{1,7 \cdot 750}{2}}{100} = 15,4 \text{ kg für 1 cm.}$$

Wird noch die zulässige Beanspruchung des Eisens zu 1100 kg für 1 qcm fest gesetzt, so ist mit Bezug auf die Tafel bei S. 113 für den voll belasteten Träger $s : q = 1100 : 1280 = 0,86$. Zunächst unter der punktierten Leitlinie der Coordinaten $l = 5,5$ und $b = 1,7$ liegt auf $s : q = 0,86$ das Profil Nr. 32, welches also bei voller Belastung genügt.

Für dieses Profil ist ¹³⁹⁾ $J_x = 12622$ und $J_y = 652$; für den einseitig belasteten Träger ist das lothrechte Moment $\frac{15,4 \cdot 550^2}{8} = 582312 \text{ cmkg}$ und die entsprechende Spannung bei 32 cm Trägerhöhe

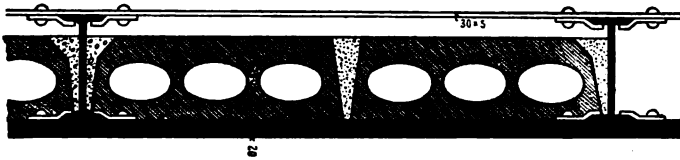
$$\frac{582312 \cdot 32}{2 \cdot 12622} = 739 \text{ kg.}$$

Das wagrechte Biegemoment unter dem einseitigen Schube von 3,6 kg ist $\frac{3,6 \cdot 550^2}{8} = 136125 \text{ cmkg}$,

die zugehörige Spannung bei 13,1 cm Trägerbreite $\frac{136125 \cdot 13,1}{2 \cdot 652} = 1368$; es ergäbe sich somit für die Kanten der Flansche $1368 + 739 = 2107 \text{ kg}$ Spannung.

Will man die genügende Tragfähigkeit durch Verstärkung des Trägerprofils erreichen, so kommt man nach dem vorggeführten Untersuchungsgange zum Profil

Fig. 207.



Nr. 40. Die Verstärkung der Träger kann aber billiger durch Einlegen von Ankerreihen erreicht werden (siehe Fig. 207, 208, 209 u. 210), welche die Träger gegen einander

absteifen, also Stützen in wagrechtem Sinne bilden. Solche Anker müssen in jedem Träger nach beiden Seiten unverschieblich befestigt sein, bestehen daher am besten

Fig. 208.

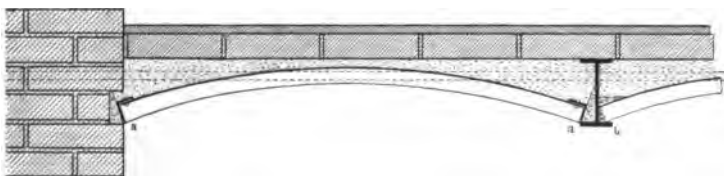


aus Rundeisen, welche nur von Träger zu Träger reichen, und in den benachbarten Fachen etwas versetzt werden, oder nach Fig. 207 u. 208 aus Bandeisen über und unter den Trägern, welche

die Flansche beiderseits mit Klammern umgreifen.

Legt man eine solche Ankerreihe in die Mitte der Weite, so entsteht in wagrechtem Sinne ein

Fig. 209.



continuirlicher Träger auf 3 Stützen von der Oeffnungsweite $\frac{550}{2} = 275$ cm; es ist das größte Moment in der Mitte (am Anker ¹⁴⁰⁾ $0,125 \cdot 3,6 \cdot 275^2 = 30430 \text{ cmkg}$. Die zugehörige Beanspruchung ist

$$\frac{30430 \cdot 13,1}{2 \cdot 652} = 306 \text{ kg;}$$

¹³⁹⁾ Siehe Theil I, Band 1, erste Hälfte (S. 198) dieses »Handbuchs«.

¹⁴⁰⁾ Nach: Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 337; 2. Aufl.: S. 146).

die größte Beanspruchung wird $739 + 306 = 1044 \text{ kg}$; also genügt nach Einlegen der einen Ankerreihe Profil Nr. 32 auch der wagrechten Beanspruchung.

Der letzte Träger an der zu unmittelbarer Aufnahme von wagrechten Schüben zu schwachen Wand hat nach den früheren Erörterungen ¹⁴¹⁾ drei Aufgaben. Er hat bei voller Belastung der beiden Endfache zu tragen:

α) die halbe Last des Endfaches mit $\frac{900 + 1,7 \cdot 750}{2 \cdot 100} = 10,9 \text{ kg}$ für 1 cm;

β) den Schub des voll belasteten Endfaches mit $\frac{3000}{100} = 30 \text{ kg}$ für 1 cm, welcher durch in das letzte Fach in größerer Zahl eingezogene Anker aufgehoben, durch den Endträger aber innerhalb der Ankertheilung auf die Anker übertragen werden muß;

γ) die Spannung, welche er als äußere Gurtung des vom letzten Fache mit beiden Trägern und Füllung gebildeten wagrechten Trägers für den vollen Schub der belasteten zweiten Kappe erhält.

Die Spannung im Träger aus α ist
 $s_1 = \frac{10,9 \cdot 550^2 \cdot 32}{8 \cdot 2 \cdot 12622} = 523 \text{ kg}$; sie fällt

weg, wenn der Endträger in der Wand durchlaufend aufgelagert ist, wie in Fig. 210.

Die Spannung aus γ ergibt sich in folgender Weise. Das Angriffsmoment eines vollen Kappenschubes ist $\frac{30 \cdot 550^2}{8}$; das

Widerstandsmoment des wagrechten Trägers, dessen Gurtungsquerschnitt gleich dem des Profils Nr. 32, also 78 qcm ist, beträgt bei $1,7 \text{ m}$ Trägerhöhe $170 \cdot 78 s_3$; demnach ist

$$s_3 = \frac{30 \cdot 550^2}{8 \cdot 170 \cdot 78} = 86 \text{ kg}.$$

Werden 3 Anker in das Endfeld gelegt, so entsteht für die Uebertragung des Schubes im Endfache auf die Anker ein continuirlicher Träger mit 4 Öffnungen von je $\frac{550}{4} \text{ cm}$. Das Moment am Mittelanker ist alsdann ¹⁴²⁾ $0,0714 \cdot 30 \cdot \frac{550^3}{16}$, somit die aus dieser Uebertragung entstehende Beanspruchung

$$s_2 = \frac{0,0714 \cdot 30 \cdot 550^3 \cdot 13,1}{16 \cdot 2 \cdot 652} = 407 \text{ kg}.$$

Die ganze Beanspruchung der unteren äußeren Flanschkannte im Endträger am Mittelanker ist somit $s = s_1 + s_2 + s_3 = 523 + 86 + 407 = 1016 \text{ kg}$, so daß also bei dreifacher Verankerung des Endfeldes auch hier das Profil Nr. 32 genügt.

Die größte Spannkraft in den den Trägerenden zunächst liegenden Ankern ist ¹⁴³⁾

$$1,1425 \cdot 30 \cdot \frac{550}{4} = 4714 \text{ kg}.$$

Der vorletzte Träger hat bei voller Belastung beider Endfache zunächst die größte lothrechte Last eines Zwischenträgers mit $\frac{900 + 1,7 \cdot 750}{100} = 21,9 \text{ kg}$ für 1 cm, dann die Spannung zu erleiden, welche in ihm als der inneren Gurtung des wagrechten Abflußträgers nach γ des Endträgers entsteht. Die genaue Spannung aus der lothrechten Last ist $\frac{550^2 \cdot 21,9 \cdot 32}{8 \cdot 2 \cdot 12622} = 1045 \text{ kg}$; die aus γ des letzten Trägers war 86 kg , so daß der vorletzte Träger höchstens $1045 + 86 = 1131 \text{ kg}$ für 1 qcm erleidet. Sollte diese Spannung schon zu hoch erscheinen — und sie wird häufig noch mehr das zulässige Maß überschreiten, wenn der gewählte Träger gegenüber der lothrechten Last weniger überschüssige Stärke besitzt, als in diesem Falle — so muß an dieser Stelle ein stärkerer Träger eingefügt werden.

Insbesondere ist noch darauf hinzuweisen, daß bei Anordnung einer geraden Anzahl von Ankern im Endfelde der gefährdete Querschnitt unter Umständen nicht

¹⁴¹⁾ Vergl. Art. 61, S. 66.

¹⁴²⁾ Nach Theil I, Band 1, zweite Hälfte, S. 337 (2. Aufl.: S. 146).

¹⁴³⁾ Nach ebendaf.

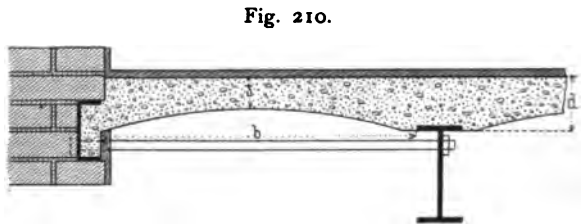


Fig. 210.

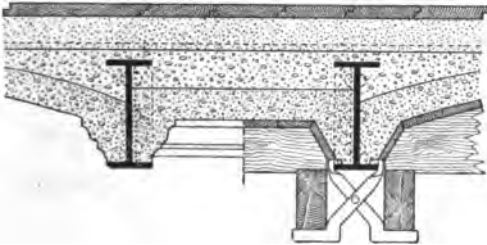
in der Trägermitte, sondern an dem der Mitte zunächst liegenden Anker zu suchen ist, weil meist die aus den wagrechten Momenten entstehenden Spannungen überwiegen.

Da bei weit gespannten Decken unter Umständen mehr als 3 Anker nöthig werden, die Momenten-Tabelle in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 337¹⁴⁴) dieses »Handbuches« aber nur bis zu 4 Oeffnungen geht, so möge diese Tabelle hier noch, unter Beibehaltung der dort gewählten Bezeichnungen, um einige Stufen erweitert werden.

Anzahl der Oeffnungen														
	5	6	7			5	6	7			5	6	7	
M_0	0	0	0	pl^2	D_0	0,3947	0,3942	0,3944	pl	M_1	0,0779	0,0777	0,0778	pl^2
M_1	0,1058	0,1058	0,1056		D_1	1,1316	1,1346	1,1338		M_2	0,0330	0,0341	0,0339	
M_2	0,0790	0,0770	0,0774		D_2	0,9737	0,9616	0,9648		M_3	0,0460	0,0433	0,0440	
M_3	0,0790	0,0866	0,0844		D_3	0,9737	1,0192	1,0070		M_4	0,0330	0,0433	0,0406	
M_4	0,1053	0,0770	0,0844		D_4	1,1316	0,9616	1,0070		M_5	0,0779	0,0341	0,0440	
M_5	0	0,1058	0,0774		D_5	0,3947	1,1346	0,9648		M_6	—	0,0777	0,0339	
M_6	—	0	0,1056		D_6	—	0,3942	1,1338		M_7	—	—	0,0778	
M_7	—	—	0		D_7	—	—	0,3944						

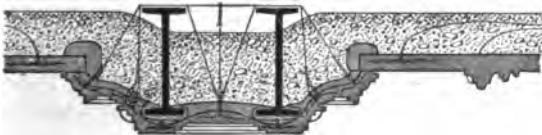
Alle diese Werthe gelten für ganz volle Belastung aller Oeffnungen. Es würden sich noch höhere Werthe ergeben können, wenn auf die ungünstigste Lastvertheilung über die von den Ankern gebildeten Theile desselben Balkenfaches Rücksicht genommen würde. Die einer solchen Vertheilung entsprechende Lastannahme geht jedoch zu weit, und die durch ihr höchst seltenes Eintreten etwa entstehenden Mehrspannungen sind eben wegen des seltenen Vorkommens ungefährlich.

Fig. 211.



Ein Mittel, die Anker in den Mittelfachen, abgesehen von den Endfachen, zu vermeiden, bietet noch die wechselweise eng und weit angeordnete Trägertheilung nach Fig. 211 u. 212, wenn man jedesmal die enge Theilung mit einer ebenen

Fig. 212.



Trägerstege für Rundeisenanker vermeiden, so bilde man die Anker nach Fig. 207 u. 208 (S. 115) aus Flacheisen.

Will man die Lochung der Trägerstege für Rundeisenanker vermeiden, so bilde man die Anker nach Fig. 207 u. 208 (S. 115) aus Flacheisen.

Bezeichnet bei einer derartigen Anordnung Q die gefammte Last, welche die Längeneinheit einer gewölbten Kappe auf den Träger bringt, b die weite Trägertheilung der gewölbten Fache, b_1 die enge Trägertheilung der geraden Fache, l die Stützlänge der Träger, g die Eigenlast des geraden Faches für die Flächeneinheit,

144) 2. Aufl.: S. 146.

$$b_1 = \frac{1}{p+g} \left[\frac{8s_e W}{l^2} - Q + \sqrt{\left(\frac{8s_e W}{l^2} - Q \right)^2 - \frac{2(H' - H'')(p+g)W}{F}} \right] \quad 41.$$

Beispiel. Es soll für die im Beispiele in Art. 90 (S. 96) behandelte Betonkappe mit $b = 1,8 \text{ m}$, $p = 750 \text{ kg}$, $\delta = 0,1 \text{ m}$, $d = 0,28 \text{ m}$, $H' = 1500 \text{ kg}$ und $H'' = 1110 \text{ kg}$ ein Widerlagsträger durch eine ebene Betonplatte der Dicke von 12 cm mit $29 - 12 = 17 \text{ cm}$ Ueberfüllung mit der Breite b_1 geschaffen werden; der Fußboden besteht aus Eichenholz. Zunächst ist nach Gleichung 20 (S. 99), da das Gewicht der Kappe $\gamma_1 = 2200 \text{ kg}$ gleich dem der Ueberfüllung γ und die Ueberfüllungshöhe im Scheitel gleich Null, also h in Gleichung 20 (S. 99) gleich δ zu setzen ist,

also $Q = 915 \text{ kg}$ (für 1 qm).

also $g = 564 \text{ kg.}$

Die Gleichung 41 lautet dann:

Das I-Profil Nr. 22 liefert unter dem Wurzelzeichen noch einen Werth kleiner als Null, dasjenige Nr. 23 zuerst einen solchen größer als Null; für diesen ist $W = 0,000317$ und $F = 0,00429 \text{ gm}$, also $\frac{W}{F} = 0,074$ und somit

Digitized by Google

c) Abmessungen von Balkenlagen mit Unterzügen.

Es wurde bereits in Art. 10 bis 13 (S. 24 bis 26) erläutert, weshalb die Verwendung von continuirlichen Trägern für den Hochbau auf Bedenken stößt, zugleich aber, daß die Anordnung continuirlicher Gelenkträger¹⁴⁵⁾ wegen der durch sie bedingten Materialersparnis¹⁴⁶⁾ durchweg zu empfehlen ist. Es sollen daher im Nachstehenden noch die zur Anordnung dieser Art von Trägern über beliebig vielen Oeffnungen nöthigen Angaben folgen.

Für diese Träger ist zu unterscheiden, ob die Stützen alle gleich weit stehen, oder ob es gestattet ist, den Stützen verschiedene Abstände zu geben. Die Belastung sei g (in Kilogr.) für 1 cm Länge des Trägers als Eigenlast, p (in Kilogr.) für 1 cm als Nutzlast und q (in Kilogr.) für 1 cm als Lastensumme.

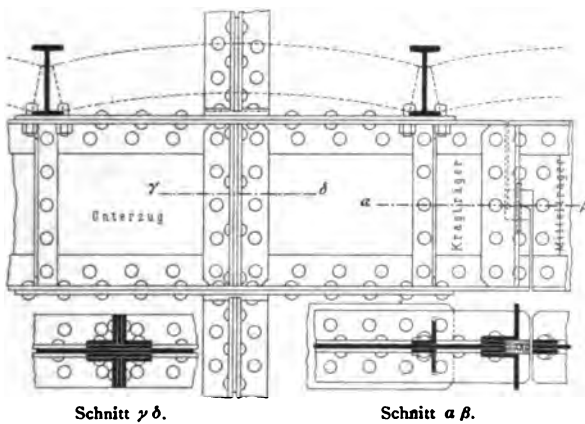
1) Gleiche Oeffnungsweiten.

In diesem Falle ist es zweckmäßig, die Momente über den Stützen durch die Wahl der Lage der Gelenke (Fig. 213 bis 216) gleich den größten Momenten in den ununterbrochenen Oeffnungen zu machen, damit die durchzuführenden Trägerstücke dieser Oeffnungen möglichst gleichmäßig ausgenutzt werden. Es entsteht so die in Fig. 217 bis 219 angedeutete Gruppierung der Maximalmomente, von denen M_3, M_4, M_5 nach den Regeln des Trägers auf 2 Stützen zu ermitteln sind.

102.
Continuirliche
Gelenkträger.

103.
Lage der
Gelenke.

Fig. 213.



Die Lage der Gelenke, welche Vorbedingung dieser Momentengruppierung ist, so wie die Größe der Momente folgen aus den nachstehenden Gleichungen, welche durch Fig. 217 u. 219 erläutert sind.

$$k = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{g}{g+q}} \right) \quad \dots \quad 42.$$

$$k_1 = \frac{q}{4(g+q)} \quad \dots \quad 43.$$

$$k_3 = \frac{1}{2} [1 - k_1 + m - \sqrt{(1 - k_1 + m)^2 - 4m}], \text{ worin } m = \left[\frac{q}{g} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{g}{q}} \right) \right]^2 \quad 44.$$

$$k_2 = \frac{k_1}{1 - k_3} \quad \dots \quad 45.$$

$$M_1 = \frac{q k_1 l^2}{2} = \frac{q k l^2}{2} (1 - k) = \frac{q^2 l^2}{8(g+q)} \quad \dots \quad 46.$$

$$M_2 = \frac{q k_3 l^2}{2} (1 - k_2) \quad \dots \quad 47.$$

¹⁴⁵⁾ Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 329; 2. Aufl.: S. 138) dieses »Handbuches«.

¹⁴⁶⁾ Siehe ebendaf., Art. 369, S. 333 (2. Aufl.: Art. 161, S. 142).

Schnitt e 5.

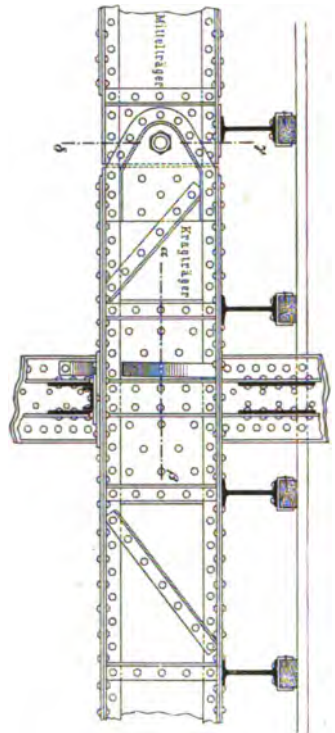
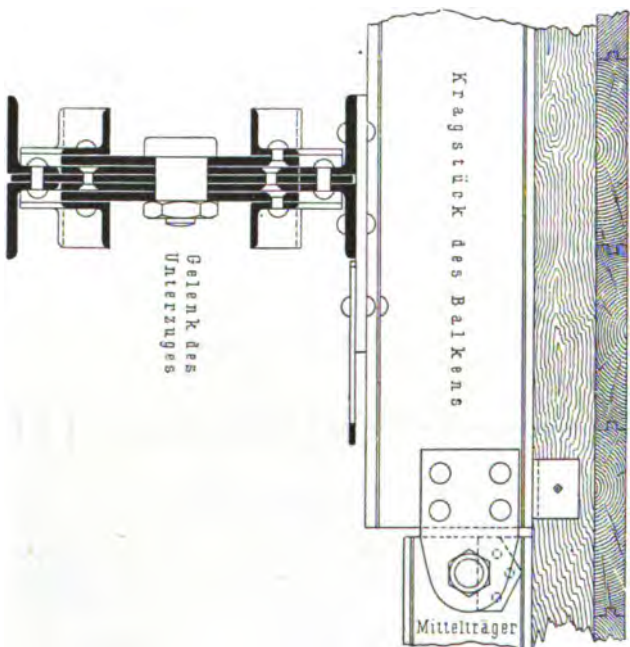


Fig. 214.

Schnitt p 0.



Schnitt
a 8.

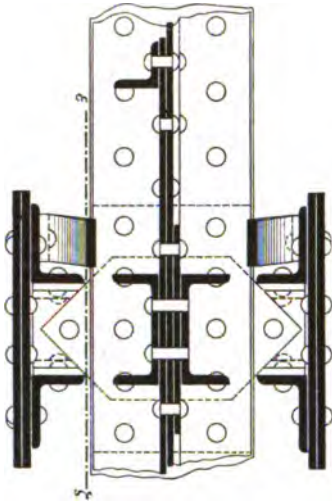


Fig. 215.

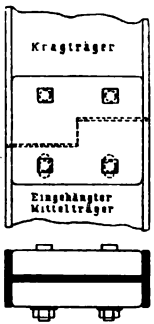


Fig. 216.

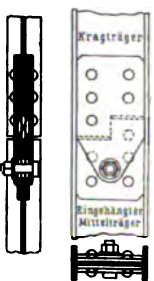


Fig. 217.

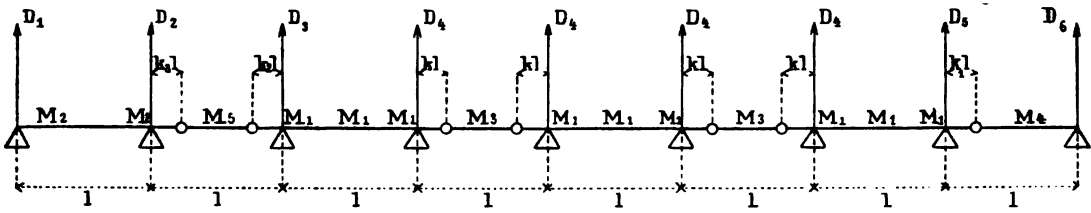


Fig. 218.

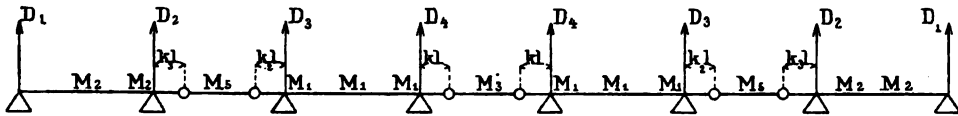
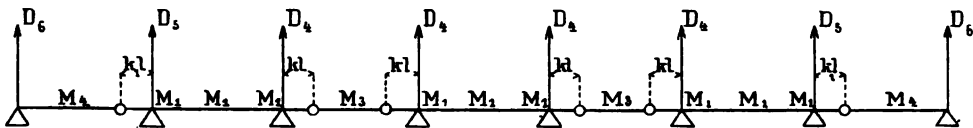


Fig. 219.



$$M_3 = \frac{ql^2}{8} (1 - 2k)^2 \dots\dots\dots 48.$$

$$M_4 = \frac{ql^2}{8} (1 - k_1)^2 49.$$

[illegible]

Fig. 220.

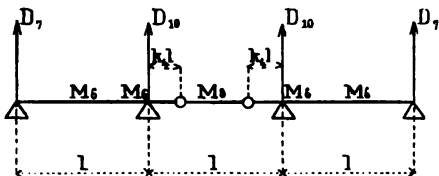
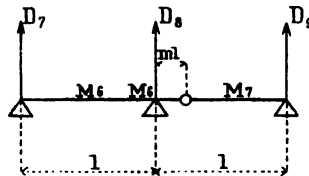


Fig. 221.



Diese Gleichungen decken alle Fälle für beliebig viele Stützen nach Maßgabe von Fig. 217 bis 219 bis auf die beiden in Fig. 220 u. 221 dargestellten Anordnungen für 3 und 4 Stützen. Für diese treten noch die folgenden Gleichungen hinzu:

$$k_4 = 0,5 - \sqrt{0,25 - m} 5I.$$

[illegible]

$$M_7 = \frac{ql^2}{8} (1 - m)^2 53.$$

[illegible]

Für die Berechnung der Belastung von Unterzügen durch die Balken und der Stützenbelastungen durch die Unterzüge ist die Kenntniss der grössten Werthe der Auflagerdrücke von Wichtigkeit, welche sich nach folgenden Ausdrücken mit Berücksichtigung der Bezeichnungen in Fig. 217 bis 221 berechnen lassen:

nach Fig. 222 angeordnet, in welche die Bezeichnungen aus Fig. 219 übernommen wurden, so wird nach Gleichung 43

$$k_1 = \frac{9}{4(9+4)} = 0,173, \text{ also } k_1 l = 0,173 \cdot 500 = 86,8 \text{ cm};$$

ferner nach den Gleichungen 46 und 49

$$M_1 = \frac{9^2 \cdot 500^2}{8(9+4)} = 194711 \text{ cmkg} \text{ und } M_4 = \frac{9 \cdot 500^2 (1 - 0,173)^2}{8} = 192355 \text{ cmkg}.$$

Bei 1000 kg Beanspruchung reicht fomit nunmehr das Profil Nr. 20 für alle Theile des Balkens aus; es geht aber bei dieser Anordnung die unmittelbare Verbindung der Säulen mit den Wänden verloren, weil zwischen Wand und Säule nun ein Gelenk liegt.

β) Unterzüge. Um die Belaftung der Unterzüge zu erhalten, muß D_{10} nach Gleichung 64 für volle Belaftung und für Eigenlast ermittelt werden. Es ist

$$\max D_{10} = \frac{9 \cdot 500}{2} (2 + 0,2062) = 4964 \text{ kg},$$

$$\min D_{10} = \frac{4 \cdot 500}{2} (2 + 0,2062) = 2200 \text{ kg}.$$

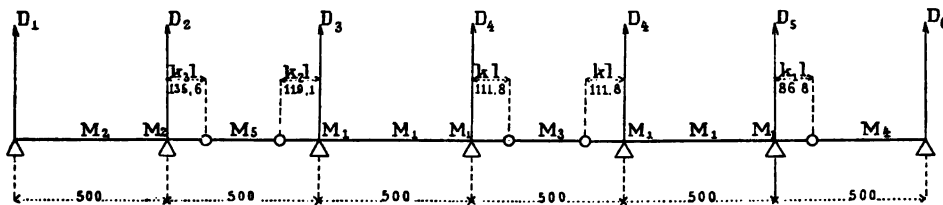
Bei der Anordnung der Balken mit Gelenken in den Endöffnungen wird die Belaftung der Unterzüge (Fig. 222) nach Gleichung 59 berechnet. Sie ist

$$\max D_5 = \frac{9 \cdot 500}{2} \left[2 + \frac{2 \cdot 9 - 4}{4(9+4)} \right] = 5106 \text{ kg},$$

$$\min D_5 = \frac{4 \cdot 500}{2} \left[2 + \frac{2 \cdot 4 - 9}{4(4+9)} \right] = 1981 \text{ kg}.$$

Da fomit bei der Anordnung nach Fig. 222 neben der schlechteren Säulenverankerung mit den Wänden auch noch eine ungünstigere Belaftung der Unterzüge eintritt, so wird man in der Regel diejenige in Fig. 221 vorziehen. Diese Lasten treten als Einzellaften in 1,0 m Abstand auf; die Berechnung liefert

Fig. 223.



aber genügend genaue Ergebnisse, wenn die Last wieder gleichförmig vertheilt gedacht wird. Es ist fomit für den Unterzug (Fig. 223), wenn die Balken nach Fig. 221 gebildet werden, für 1 cm Trägerlänge $g = 22 \text{ kg}$ und $q = 49,64 \text{ kg}$, daher nach Gleichung 42

$$k = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{22}{22+50}} \right) = 0,2236 \text{ und } k l = 0,2236 \cdot 500 = 111,8 \text{ cm},$$

nach Gleichung 43

$$k_1 = \frac{50}{4(22+50)} = 0,1736 \text{ und } k_1 l = 0,1736 \cdot 500 = 86,8 \text{ cm},$$

nach Gleichung 44

$$m = \left[\frac{50}{22} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{22}{50}} \right) \right]^2 = 0,2066,$$

$$k_3 = \frac{1}{2} [1 - 0,1736 + 0,2066 - \sqrt{(1 - 0,1736 + 0,2066)^2 - 4 \cdot 0,2066}] = 0,2712,$$

$$k_3 l = 0,2712 \cdot 500 = 135,6 \text{ cm},$$

nach Gleichung 45

$$k_2 = \frac{0,1736}{1 - 0,2712} = 0,2382 \text{ und } k_2 l = 0,2382 \cdot 500 = 119,1 \text{ cm},$$

nach Gleichung 46

$$M_1 = \frac{50^2 \cdot 500^2}{8(22+50)} = 1085070 \text{ cmkg}.$$

Bei 1000 kg Beanspruchung müssen also die beiden beiderseits überkragenden Trägerstücke aus Normalprofil Nr. 36 gebildet sein.

Nach Gleichung 47 ist $M_2 = \frac{50 \cdot 0,2712 \cdot 500^2}{2} (1 - 0,2282) = 1291250 \text{ cmkg}$; für das überkragende Endstück links genügt also Profil Nr. 38 knapp.

Nach Gleichung 48 ist $M_3 = \frac{50 \cdot 500^2 (1 - 2 \cdot 0,2282)^2}{8} = 477481 \text{ cmkg}$; für den mittleren eingehängten Träger ist daher Profil Nr. 28 zu verwenden.

Nach Gleichung 49 ist $M_4 = \frac{50 \cdot 500^2 \cdot (1 - 0,1786)^2}{8} = 1068125 \text{ cmkg}$; das linke Endstück muß ferner aus Profil Nr. 36 bestehen.

Nach Gleichung 50 ist $M_5 = \frac{50 \cdot 500^2 (1 - 0,2282 - 0,2712)^2}{8} = 376075 \text{ cmkg}$; für den linken eingehängten Träger ist also Profil Nr. 26 zu verwenden.

Die Belastungen der Wände an den Enden der Unterzüge und die der stützenden Säulen ergeben sich aus den Gleichungen 55 bis 60 ohne Weiteres; z. B. ist nach Gleichung 58

$$D_1 = \frac{50 \cdot 500}{2} \left[2 + \frac{50 - 22}{4(50 + 22)} \right] = 26216 \text{ kg},$$

oder nach Gleichung 57

$$D_3 = \frac{50 \cdot 500}{2} \left[(2 - 0,2712)(1 + 0,2282) - \frac{22}{4(22 + 50)} \right] = 25802 \text{ kg}.$$

Wären die Balken nicht überkragend angeordnet, sondern über den Unterzügen gestoßen, so hätte sich für dieselben das größte Biegemoment zu $\frac{9 \cdot 500^2}{8} = 281250 \text{ cm}$ ergeben, und statt der Querschnitte Nr. 21 und 12 hätte Nr. 22 durchweg verwendet werden müssen.

Wären zugleich die Unterzüge über den Säulen gestoßen, so hätte die Last $(500 + 400) \frac{5}{100} = 45 \text{ kg}$ für 1 cm, also das größte Biegemoment in allen Öffnungen $\frac{45 \cdot 500^2}{8} = 1406250 \text{ cmkg}$ betragen; statt der Profile 38, 36 und 28 hätte also durchweg Nr. 40 verwendet werden müssen.

Durch Einfügen der Gelenke ist der Trägerrost also beträchtlich erleichtert, und diese Erleichterung ist durchschlagender, als die Verstärkung der Stützen, welche in Folge der Anordnung kontinuierlicher Gelenkträger erforderlich wird. Die größte Stützenlast für über den Auflagern gestoßene Balken und Unterzüge würde $500 \cdot 45 = 22500 \text{ kg}$ betragen.

2) Verschiedene Oeffnungsweiten.

105.
Grundgedanke.

Da, wo verschiedene Oeffnungsweiten, also ungleiche Stützenentfernungen zulässig sind, kann man diesen Umstand benutzen, um die Stütz- und Kraglängen den Werthen g und q so anzupassen, daß das größte Moment auch der eingehängten Trägerstücke gleich den beiden größten Momenten der Kragstücke und somit alle gefährlichen Momente eines Trägers einander gleich werden. Man erreicht so, neben der Möglichkeit, einen einheitlichen Querschnitt für den ganzen Träger durchführen zu können, zugleich thunlichst geringes Gewicht der Träger.

Da die Stützentheilung bei Erfüllung dieser Bedingung aber von g und q abhängig ist, andererseits bei mehrgeschossigen Gebäuden die Stützen verschiedener Geschosse lothrecht über einander stehen sollen, so ist die günstigste Stützentheilung in diesem Falle nicht gleichzeitig in allen Geschossen zu erreichen, wenn die verschiedenen Geschosse auf verschiedene Werthe von g und q einzurichten sind. In einem solchen Falle richte man die Stützentheilung für diejenigen Werthe von g und q ein, welche in den meisten Geschossen wiederkehren; in den übrigen Geschossen ist völlige Ausgleichung der Momente dann nicht zu erreichen, und man muß sich damit begnügen, wie bei gleicher Stützentheilung, die Momente nur an den gefährlichen Stellen der Kragtheile gleich zu machen.

Es ist hier also zuerst der Fall zu behandeln, daß die Stützeitheilungen für völlige Ausgleichung aller größten Momente eingerichtet werden sollen.

Die Anordnung dieser Bedingung genügender Träger ist allgemein in Fig. 224 u. 225 für eine ungerade, in Fig. 226 für eine gerade Anzahl von Oeffnungen dargestellt; die Anzahl der Oeffnungen für Fig. 224 u. 225 sei $2n + 1$; jene für Fig. 226 betrage $2n$.

Zunächst ergeben sich die die Gelenke fest legenden Zahlenwerthe k und k_1 aus

$$k = 3 - 2\sqrt{2} = 0,1716, \quad 65.$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}} = 0,14644 \quad 66.$$

Neben den Bezeichnungen, deren Bedeutung aus Fig. 224 bis 226 hervorgeht, führen wir noch die stets bekannte Gesamtlänge des Trägers L ein. Wird wieder die Eigenlast für die Längeneinheit g , die Gesamtlast q und die Nutzlast p genannt, so kann die Abmessung der einzelnen Theile nach den folgenden Ausdrücken erfolgen:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0,3536 g}{q \left(\sqrt{1 + \frac{g}{q}} - 1 \right)} \quad 67.$$

$$\frac{l_3}{l_2} = 0,7072 \sqrt{\frac{g+q}{q}} \quad 68.$$

$$\frac{l_4}{l_2} = \frac{1}{\sqrt{8k}} = 0,8525 \quad 69.$$

Damit sind alle Weiten auf l_2 bezogen, und die Berechnung von l_2 aus L geschieht nun für die verschiedenen Fälle nach den folgenden Gleichungen.

Zahl der Oeffnungen (ungerade) $= 2n + 1$ (Fig. 224: Endöffnung mit Gelenk):

$$L = 2l_4 + n l_3 + (n-1) l_2 \quad 70.$$

Zahl der Oeffnungen (ungerade) $= 2n + 1$ (Fig. 225: Endöffnung ohne Gelenk):

$$L = 2l_1 + n l_2 + (n-1) l_3 \quad 71.$$

Zahl der Oeffnungen (gerade) $= 2n$ (Fig. 226):

$$L = l_1 + l_4 + (n-1) l_2 + (n-1) l_3 \quad 72.$$

Fig. 224.

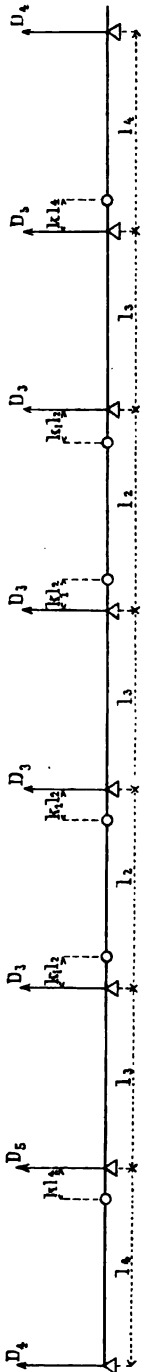


Fig. 225.

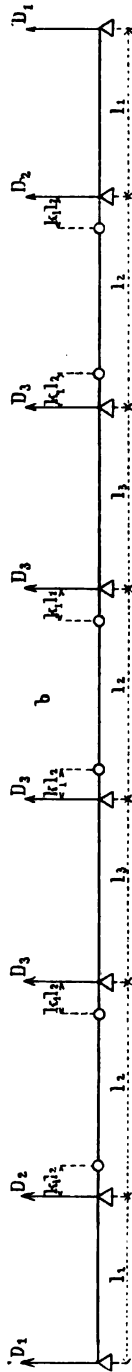
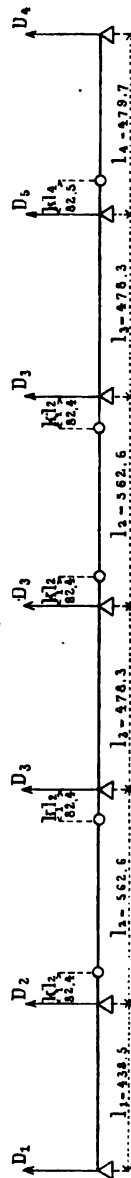


Fig. 226.



Die bei dieser Anordnung in allen gefährlichen Querschnitten gleichen Momente sind zu berechnen nach

$$M = \frac{q l_2^3}{16} = 0,0858 q l_4^2 \quad \dots \quad 73.$$

In Fig. 227 bis 229 sind die Verhältnisse der Träger auf 3 und 4 Stützen

Fig. 227.

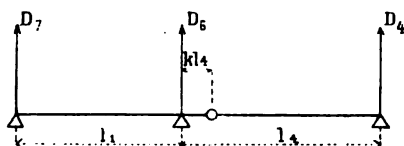


Fig. 228.

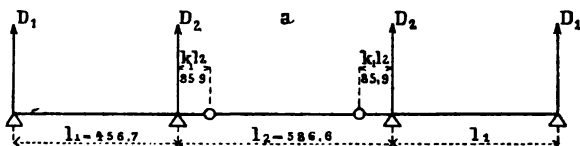
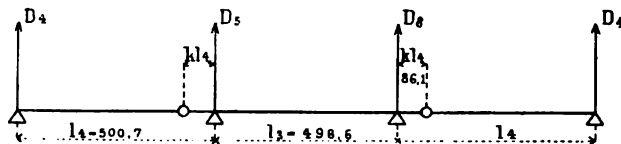


Fig. 229.



dargestellt, so weit für dieselben die aus den Gleichungen 67 bis 69 zu entnehmenden Verhältnisse nicht verwendbar sind. Danach ist

$$\frac{l_4}{l_1} = 2,411 \frac{q}{g} \left(\sqrt{1 + \frac{g}{q}} - 1 \right) \quad \dots \quad 74.$$

$$\frac{l_4}{l_3} = 1,207 \sqrt{\frac{q}{g + q}} \quad \dots \quad 75.$$

Für die Ermittlung der Stützenbelastungen ist die Feststellung der größten Auflagerdrücke erforderlich. Diese ergeben sich aus:

$$D_1 = \frac{q l_1}{2} - \frac{g l_2^3}{16 l_1} \quad \dots \quad 76.$$

$$D_2 = \frac{q}{2} \left(l_1 + l_2 + \frac{l_2^3}{8 l_1} \right) \quad \dots \quad 77.$$

$$D_3 = q \frac{l_2 + l_3}{2} + (q - g) \frac{l_2^3}{16 l_3} \quad \dots \quad 78.$$

$$D_4 = 0,4143 q l_4 \quad \dots \quad 79.$$

$$D_5 = q \frac{l_3 + l_4}{2} + 0,0858 q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3} \right) - \frac{g l_2^3}{16 l_3} \quad \dots \quad 80.$$

$$D_6 = q \frac{l_1 + l_4}{2} + 0,0858 q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_1} \right) \quad \dots \quad 81.$$

$$D_7 = \frac{q l_1}{2} - 0,0858 g \frac{l_4^3}{l_1} \quad \dots \quad 82.$$

$$D_8 = q \frac{l_3 + l_4}{2} + 0,0858 \left[q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3} \right) - g \frac{l_4^3}{l_3} \right] \quad \dots \quad 83.$$

Die Gleichungen 76 bis 83 geben die größten Werthe der Stützendrücke; die kleinsten — möglicher Weise negativen — ergeben sich durch Vertauschung von g mit q und q mit g aus denselben Gleichungen.

Beispiel. Des Vergleiches wegen mag hier die in Art. 104 (S. 122) schon für gleiche Stützteilungen zu Grunde gelegte Decke nach den nunmehr vorliegenden Gesichtspunkten nochmals durchgerechnet werden. Es ist also für die Balken $L = 15 \text{ m}$ und für die Unterzüge $L = 30 \text{ m}$; die Eigenlast beträgt 400 und die Nutzlast 500 kg für 1 qm.

Für die Balken ist $p = 4$, $q = 9 \text{ kg}$ für 1 cm und bei Anordnung nach Fig. 228 mit Gelenken in der Mittelöffnung nach Gleichung 67

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0,8886 \cdot 4}{9 \left(\sqrt{1 + \frac{4}{9}} - 1 \right)} = 0,7784;$$

nach Gleichung 71 wird für $n = 1$ und $L = 15$ hiernach $15 = 2 \cdot 0,7784 l_2 + 1 \cdot l_2$; fomit $l_2 = 5,866$ und $l_1 = 4,567 \text{ m}$, und weiter nach Gleichung 66: $k_1 l_2 = 0,14644 \cdot 5,866 = 0,859 \text{ m}$.

Nach Gleichung 73 ist das überall gleiche größte Moment $M = \frac{9 \cdot 586,8^2}{16} = 193556 \text{ cmkg}$; es genügt also bei 1000 kg zulässiger Beanspruchung das Profil Nr. 20.

Die Belastung der Unterzüge folgt nach Gleichung 77

$$\text{mit dem größten Werthe } D_2 = \frac{9}{2} \left(456,7 + 586,8 + \frac{586,8^2}{8 \cdot 456,7} \right) = 5118 \text{ kg},$$

$$\text{mit dem kleinsten Werthe } D_2 = \frac{4}{2} \left(456,7 + 586,8 + \frac{586,8^2}{8 \cdot 456,7} \right) = 2274 \text{ kg}.$$

Werden diese Lasten, welche in $1,0 \text{ m}$ Theilung wiederkehren, gleichförmig vertheilt gedacht, so werden für die Unterzüge $q = 51,2 \text{ kg}$ und $g = 22,8 \text{ kg}$.

Werden für die Balken nach Fig. 229 die Gelenke in die Endöffnungen gelegt, so ist nach Gleichung 75

$$\frac{l_4}{l_3} = 1,207 \sqrt{\frac{9}{4 + 9}} = 1,0043,$$

fomit nach Gleichung 70 für $n = 1$ nunmehr $15 = 2 l_4 + \frac{1}{1,0043} l_4$, also $l_4 = 5,007 \text{ m}$ und $l_3 = 4,986 \text{ m}$.

Nach Gleichung 63 ist $k l_4 = 0,1716 \cdot 5,007 = 0,861 \text{ m}$. Nach Gleichung 73 wird

$$M = 0,0458 \cdot 9 \cdot 500,7^2 = 194041 \text{ cmkg},$$

also eben so groß, wie nach der Anordnung mit Gelenken in der Mittelöffnung.

Die Belastung der Unterzüge wird nach Gleichung 83 am größten, demnach

$$D_3 = 9 \frac{498,8 + 500,7}{2} + 0,0858 [9 \cdot 500,7 (1 + 1,0043) - 4 \cdot 1,0043 \cdot 500,7] = 5100 \text{ kg};$$

am kleinsten, wenn in Gleichung 83 die Größen g und q vertauscht werden, fomit

$$D_3 = 4 \frac{498,8 + 500,7}{2} + 0,0858 [4 \cdot 500,7 (1 + 1,0043) - 9 \cdot 1,0043 \cdot 500,7] = 1955 \text{ kg}.$$

Hier sind beide Anordnungen also etwa gleichwerthig; wegen der besseren Verbindung der Säulen mit den Wänden, so wie wegen der geringeren Schwankung in der Belastung der Unterzüge wird die erstere nach Fig. 228 beibehalten.

Für den Unterzug ist fomit rund $q = 51,2 \text{ kg}$ und $g = 22,8 \text{ kg}$ für 1 cm . Um bei $L = 30 \text{ m}$ annähernd 5 m Säulenentfernung zu erhalten, werden 6 Oeffnungen angeordnet, so daß Fig. 226 maßgebend ist. Alsdann ist nach Gleichung 67

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0,8886 \cdot 22,8}{51,2 \left(\sqrt{1 + \frac{22,8}{51,2}} - 1 \right)} = 0,7793;$$

nach Gleichung 68

$$\frac{l_3}{l_2} = 0,7073 \sqrt{\frac{22,8 + 51,2}{51,2}} = 0,8502;$$

nach Gleichung 69

$$\frac{l_4}{l_2} = 0,8525.$$

Wird weiter in Gleichung 72 für n der Werth 3 eingesetzt, so folgt

$$30 = l_2 (0,7793 + 0,8525 + 2 + 2 \cdot 0,8502) \text{ oder } l_2 = 5,626 \text{ m};$$

Danach ist

$$l_1 = 0,7793 \cdot 5,626 = 4,385 \text{ m},$$

$$l_3 = 0,8502 \cdot 5,626 = 4,788 \text{ m},$$

$$l_4 = 0,8525 \cdot 5,626 = 4,797 \text{ m}.$$

Das an allen gefährlichen Stellen gleiche größte Moment ist nach Gleichung 73

$$M = \frac{51,2 \cdot 562,6^2}{16} = 1012860 \text{ cmkg.}$$

Bei 1000 kg Beanspruchung ist sonach durchweg das I-Profil Nr. 36 zu verwenden, und es ist somit trotz der etwas größeren Last die Trägeranordnung hier vorteilhafter, als bei gleichen Stützentheilungen.

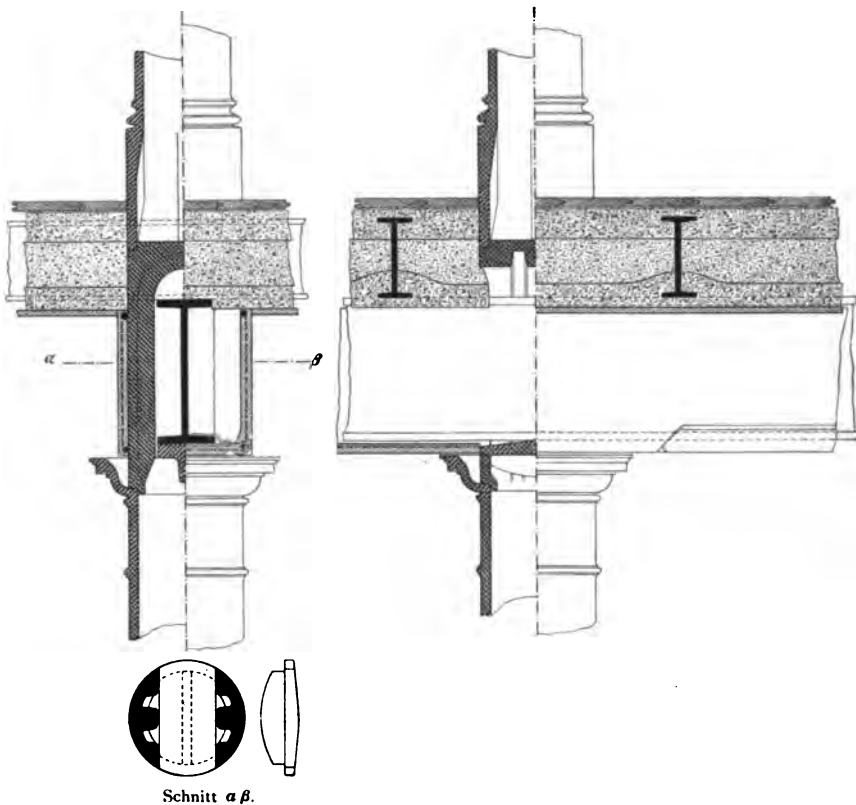
Die Länge $k_1/2$ wird nach Gleichung 66: $0,14644 \cdot 562,6 = 82,4 \text{ cm}$ und $k/4$ nach Gleichung 65: $0,172 \cdot 479,7 = 82,5 \text{ cm}$.

Die Stützendrucke, welche aus den Gleichungen 76 bis 83 folgen, werden hier um ein Geringes größer, als bei gleicher Theilung der Stützen. So wird z. B. nach Gleichung 78

$$D_3 = 51,2 \frac{562,6 + 478,3}{2} + (51,2 - 22,3) \frac{562,6^2}{16 \cdot 478,3} = 27820 \text{ kg.}$$

Der Druck D_3 für gleiche Stützentheilung betrug nur 25802 kg; doch hat dieser Unterschied keinen erheblichen Einfluß auf die Kosten der Säulen; viel wichtiger ist die durch die überall gleiche Trägerhöhe erzielte größere Gleichmäßigkeit in der Ausbildung der Stützen, wie der ganzen Decke.

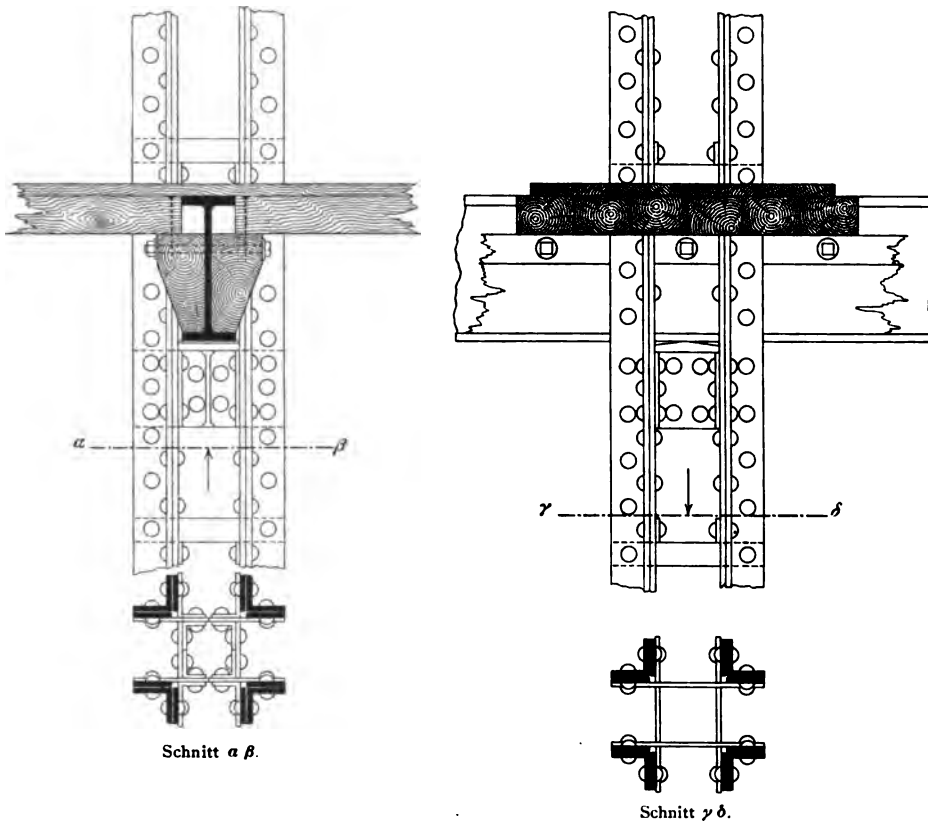
Fig. 230.



Es mag noch besonders hervorgehoben werden, daß in den Rechnungsbeispielen das Eigengewicht der Träger vernachlässigt wurde; bei Berechnungen für die Ausführung genügt es, für die Balken ein Gewicht von 0,3 kg für 1 cm, für die Unterzüge ein solches von 0,9 kg für 1 cm von vornherein einzuführen. In der Regel werden die Träger diese Gewichte nicht ganz erreichen.

Bei einfacher Anordnung der Unterzüge könnten die Stützen nach den Beispielen in Fig. 230 bis 234 ausgebildet werden; die Anordnung in Fig. 235 ist für so schwere Traganordnungen, wegen der Schwächung der Säule, weniger zu empfehlen. Bei gußeisernen Stützen sind nur die Anordnungen in Fig. 236 u. 230 ganz

Fig. 231.



vollkommen, so wie für nicht zu große Belastung auch die Anordnung nach Fig. 17 (S. 14); Fig. 236 bedingt aber eine Balkenlagerung nach Fig. 237 oder 238. Man erkennt hieraus, daß sich continuirliche Gelenkunterzüge bei schmiedeeisernen Stützen wesentlich bequemer anordnen lassen, als bei den geschlossenen gußeisernen, wenn nicht die Decke so leicht ist, daß man die Anordnung nach Fig. 17 (S. 14), Fig. 230 oder 235 unbedenklich wählen kann.

Bei den ungleichen Stützentheilungen ist das Nachrechnen der kleinsten Stützendrücke nach den Gleichungen 76

bis 83, unter Vertauschen von g und q , noch wichtiger, als bei gleichen Oeffnungen, da hier noch leichter als dort die Verankerung der Auflagerstellen nach unten für negative Stützendrücke erforderlich wird. Zur Aufhebung dieser stets geringen negativen Auflagerdrücke wird in der Regel schon das Gewicht der Stützen genügen. Die Endauflager, bei denen am leichtesten negative Auflagerkräfte vorkommen, können meist Verankerungen in den Wänden erhalten;

Fig. 232.

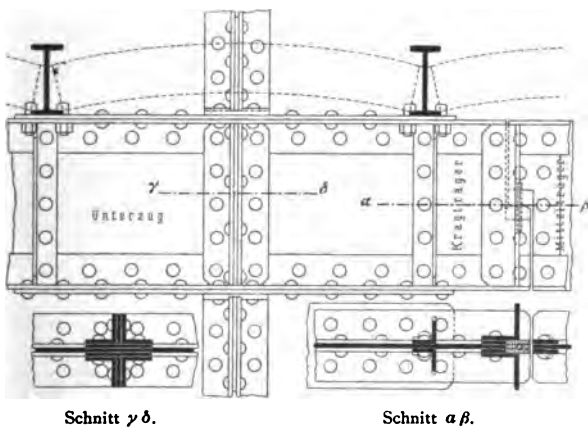


Fig. 233.

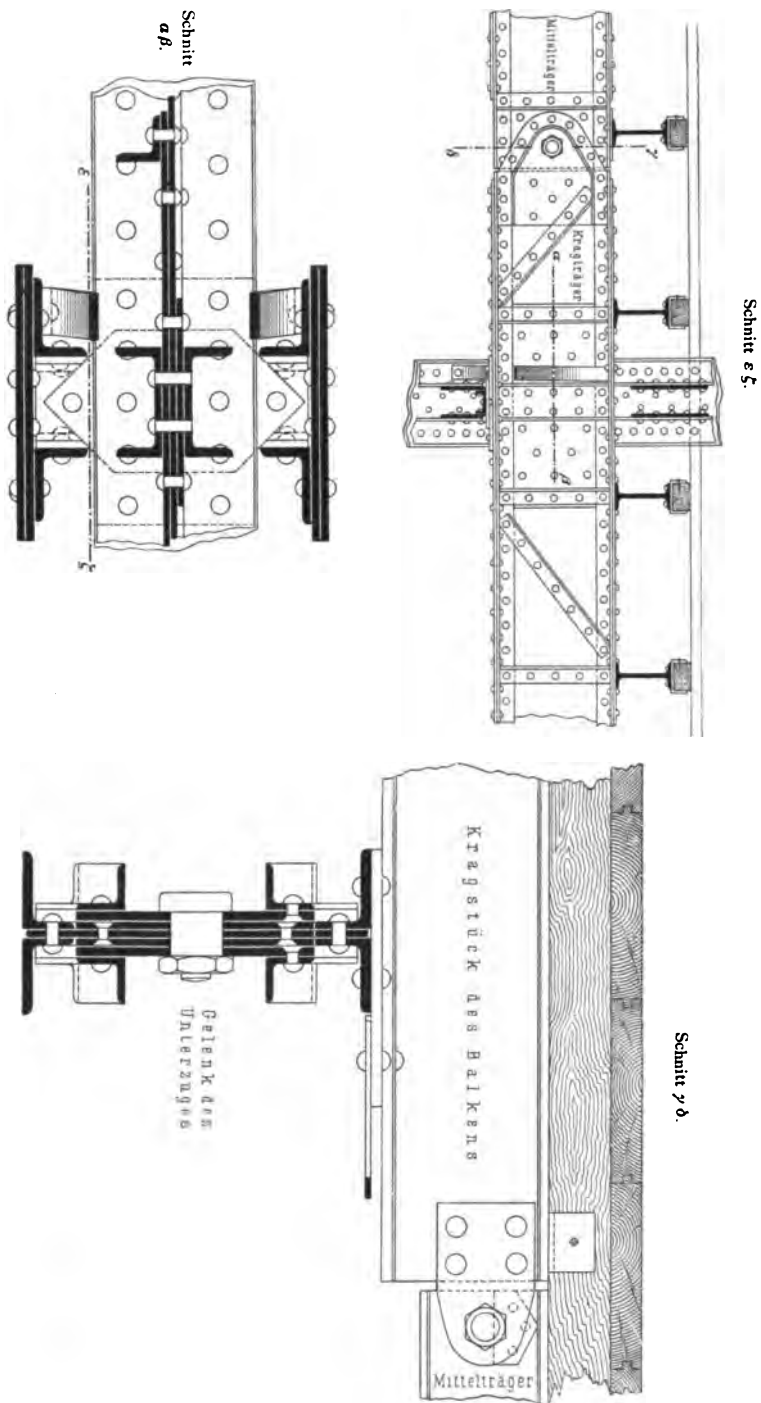


Fig. 234.

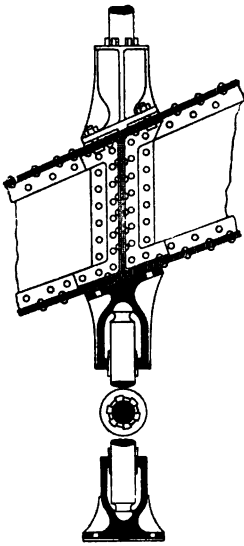


Fig. 237.

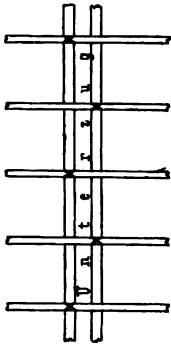


Fig. 235.

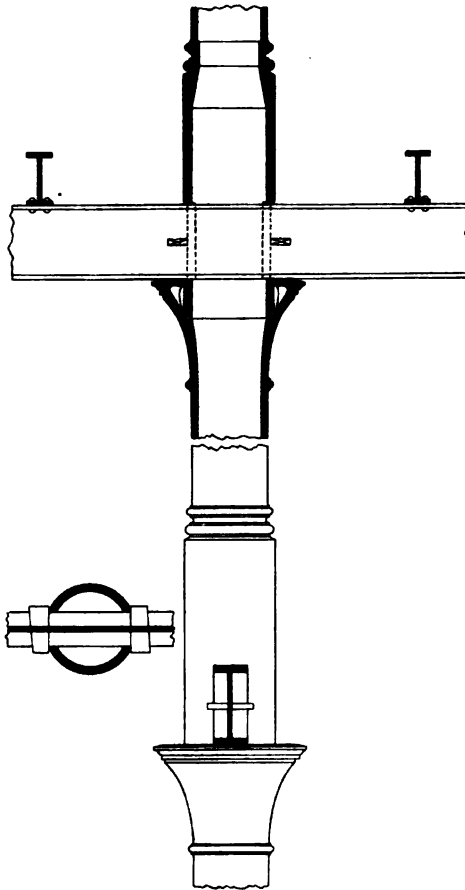


Fig. 236.

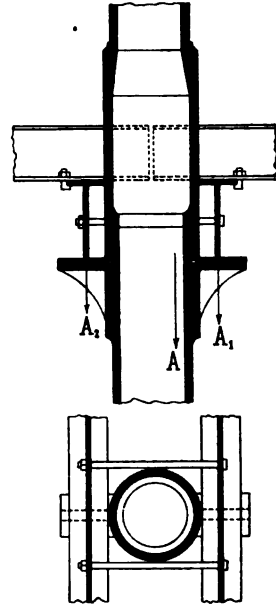
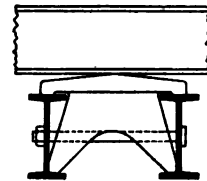


Fig. 238.



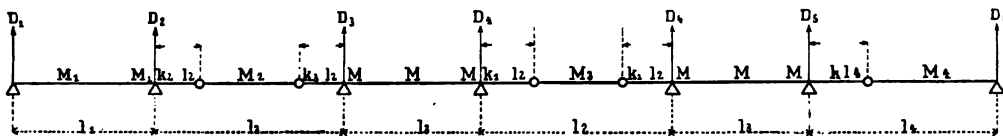
doch ist dann bei Bemessung der Wandstärken die Wirkung dieser meist außerhalb des Schwerpunktes nach oben wirkenden Kräfte genau zu berücksichtigen.

Der zweite Fall ist der, daß die Stützweiten zwar verschieden, aber unabhängig vom Verhältnisse $g : q$ fest vorgeschrieben sind, so daß die Ausgleichung aller größten Momente nicht mehr möglich ist.

Abgesehen von ganz unregelmäßigen Anordnungen, in denen bloß Sonderrechnungen von Fall zu Fall zum Ziele führen können, ist hier nur der oben angedeutete Fall allgemein zu behandeln, daß die Stützenstellung in Fig. 224 bis 228 für ein Gefchoß auf vollständige Ausgleichung der Momente eingerichtet wurde, und nun in einem anderen Gefchoße durchgeführt werden muß, wo sie dem dort auftretenden Verhältnisse $g : q$ nicht mehr entspricht.

107.
Zweiter
Fall.

Fig. 239.



In Fig. 239 sind daher die Bezeichnungen der Stützweiten aus Fig. 224 bis 226 (S. 125) übernommen, und es kommt nun darauf an, die Gelenke so zu legen, daß die drei, bzw. zwei größten Momente eines kontinuierlichen Trägerstückes unter sich gleich werden. Es werden dann im Allgemeinen die kontinuierlichen Trägerstücke unter sich und auch gegen die eingehängten Trägerstücke verschiedenen Querschnitt erhalten, wie dies durch die in Fig. 239 beigeführten Momentenbezeichnungen angedeutet ist. Die Lage der Gelenke, die Momentengrößen und die Auflagerdrücke ergeben sich mit Bezug auf Fig. 239 aus den folgenden Formeln.

Zuerst werden aus den gegebenen Stützweiten und g und q zwei Hilfsgrößen a und b berechnet nach:

$$a = \frac{q}{4(g+q)} \frac{l_3^2}{l_4^2} \quad \dots \quad 84.$$

$$b = \left[\frac{q}{g} \frac{l_1}{l_2} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{g}{q}} \right) \right]^2 \quad \dots \quad 85.$$

Danach ergibt sich dann

$$k = \frac{q}{4(g+q)} \frac{l_3^2}{l_4^2} \quad \dots \quad 86.$$

$$k_1 = 0,5 (1 - \sqrt{1 - 4a}) \quad \dots \quad 87.$$

$$k_2 = \frac{b + 1 - a}{2} - \sqrt{\left(\frac{b + 1 - a}{2} \right)^2 - b} \quad \dots \quad 88.$$

$$k_3 = \frac{a}{1 - k_2} \quad \dots \quad 89.$$

$$M = \frac{q a l_2^2}{2} \quad \dots \quad 90.$$

$$M_1 = \frac{q b l_2^2}{2} \quad \dots \quad 91.$$

Die Momente M_3 , M_4 und M_5 ergeben sich nach den Regeln des Balkens auf zwei Stützen.

Die größten Werthe der Stützendrücke sind:

$$D_1 = \frac{q l_1}{2} - \frac{g b l_2^2}{2 l_1} \quad \dots \quad 92.$$

$$D_2 = \frac{q}{2} \left[l_1 + l_2 \left(k_2 + 1 + k_2 \frac{l_2}{l_1} \right) (1 - k_3) \right] \quad \dots \quad 93.$$

$$D_3 = \frac{q}{2} \left[l_2 (1 - k_2) + l_3 \right] \left(1 + k_3 \frac{l_2}{l_3} \right) - \frac{g a l_2^2}{2 l_3} \quad \dots \quad 94.$$

$$D_4 = \frac{q}{2} \left(l_2 + l_3 + a \frac{l_2^2}{l_3} \right) - \frac{g a l_2^2}{2 l_3} \quad \dots \quad 95.$$

$$D_5 = \frac{q}{2} \left[l_3 + l_4 + k l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3} \right) \right] \quad \dots \quad 96.$$

$$D_6 = \frac{q}{2} l_4 (1 - k) \quad \dots \quad 97.$$

Auch hier ergeben sich die geringsten, möglicher Weise negativen Werthe der Stützendrücke aus den Gleichungen 92 bis 97 durch Vertauschen von g und q .

7. Kapitel.

Schutz der Balkendecken gegen Feuchtigkeit und Schalldurchlässigkeit.

Die Schutzmittel gegen Feuchtigkeit¹⁴⁸⁾ sollen bezüglich der Theile gleichfalls einzeln besprochen werden, nämlich a) für die Ausfüllungen der Balkenfache, b) für die Träger und Balken und c) für die Freistützen. Vom Schutze der Fußböden gegen aufsteigende Feuchtigkeit war bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abfchn. 1, A, Kap. 12, unter a, 1, γ) dieses »Handbuches« die Rede; von den ferneren bei Fußböden nothwendigen Schutzmitteln wird noch in Theil III, Band 3, Heft 3 dieses »Handbuches« gesprochen werden.

a) Feuchtigkeitschutz für die Ausfüllungen der Balkenfache.

Die Fachfüllungen sollen aus völlig trockenen und die Feuchtigkeit nicht aufsaugenden Stoffen hergestellt werden, da sie sonst die Veranlassung zur Zerstörung der Decke werden und schon vorher den Herd für die Entwicklung schädlicher Gase und Pilze bilden. Bei der Ausfüllung hölzerner Balkenfache sollen vor Allem organische Beimengungen vermieden werden; man hat daher auf völlige Reinheit des sonst gut zu diesem Zwecke zu verwendenden Bauchuttes von Holzspähnen, Zeugresten, Papierstücken, Stroh u. dergl., so wie auf vollständige Fernhaltung von Humus aus Sandfüllungen zu achten. Füllungen aus Sägespännen, Torfgrufs, Moos u. dergl. sind, abgesehen von ihrer grossen Feuergefährlichkeit, völlig trocken und nur da zu verwenden, wo sie auch dauernd keiner Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Dafs Kieselguhr die trockenste Füllung abgiebt, wurde schon in Art. 27 (S. 39) besprochen.

Bei an sich feucht liegenden Decken sind namentlich die Füllungen aus Gyps und Gyps-Beton, so wie aus hohlen Gypsblöcken nach französischen Mustern unzulässig, weil der Gyps sich im Wasser leicht löst. Für derartige Fälle empfehlen sich ganz besonders Füllungen aus Hohlziegeln oder hohlen Terracotten (System *Laporte*), deren Canäle man zur Lüftung der Decke benutzen kann, wenn man sie mit nach aussen gehenden Luftlöchern versieht.

Eine Reihe der neueren Zwischendecken-Anordnungen sind in erster Linie mit Rücksicht auf völlige Trockenheit durchgebildet, so die Korksteine, Gypsdien und Spreutafeln, welche in Folge ihrer Zusammensetzung an sich wasserbeständig sind und durch die vielen Hohlräume gute Gelegenheit zum Verdunsten etwa eingedrungener Feuchtigkeit geben.

Als Mittel, um das Eindringen von Feuchtigkeit in die Fachausfüllung überhaupt zu verhindern, empfiehlt sich die wasserdichte Herstellung des Fußbodens durch Beläge oder Kalfatern; die wegen Verhinderung des Aufsteigens von Staub durch die Fußbodenfugen zu empfehlende Abdeckung der Fachausfüllung mit Dachpappe kann die hier gestellte Aufgabe nur unvollkommen lösen, da die einmal durch den Fußboden gedrungene Feuchtigkeit nur langsam verdunstet und schliesslich auch den Weg durch die Dachpappe finden wird.

In die Fachausfüllung gebettete Eisentheile werden, wenn nicht jedes Eindringen von Feuchtigkeit mit völliger Sicherheit ausgeschlossen ist, angefrichen, getheert oder am besten verzinkt, da in feuchten Fachausfüllungen ein ganz ausserordentlich starkes

208.
Wahl
des
Materials.

209.
Mittel
gegen das
Eindringen
der
Feuchtigkeit.

¹⁴⁸⁾ Siehe auch Theil III, Band 2, Heft 1 (S. 410 u. ff.) dieses »Handbuches«.

Rosten stattfindet, namentlich wenn es durch fauere Beimengungen der Füllung (Kohlenasche, unreiner Bauschutt) befördert wird.

Befonders wichtig ist die Sicherung dünner Bleche, also der Wellblech-, Tonnenblech- und Buckelplatten-Decken. Diese Theile sollen, nachdem sie vollkommen fertig für das Verlegen vorbereitet sind, verzinkt werden, und wenn die Verzinkung durch die Verlegungsarbeiten (z. B. beim Nieten) verletzt wird, so sollen die verletzten Stellen durch Aufträufeln flüssigen Lothes gesichert werden. Ferner ist es zweckmässig, diese Blechkörper über der Verzinkung noch mit einem dünnen Ueberzuge von weichem Asphalt oder Asphaltlack, heiss aufgetragen, zu versehen. Dieser Ueberzug giebt zugleich das beste Mittel ab, die Nietungen und Fugen in den Auflagerungen auf die Träger zu decken und so mit Gefälle zu versehen, dass das Wasser von hier leicht und schnell nach den Entwässerungsstellen laufen kann.

Die Entwässerungsstellen sind bei hängenden Buckelplatten die Scheitel, in welche Entwässerungsröhrchen vor dem Verzinken eingeschraubt werden, bei nach oben gewölbten Buckelplatten die vier Ecken, welche aber dicht an den Nähten und den Trägern liegen und viermal so viele Löcher erfordern; daher ist diese Anordnung überall da mangelhaft, wo erheblichere Mengen Feuchtigkeit zu erwarten sind, und es ist dann eine ganz besonders sorgfältige Entwässerungsanlage nach den Ecklöchern mittels Asphaltfchichten mit möglichst starkem Gefälle nöthig.

Tonnenbleche hängen stets nach unten, müssen also im Scheitel entwässert werden. Um Längsgefälle des Scheitels nach bestimmten Entwässerungspunkten zu erhalten, bilde man die Tonnenbleche aus etwas trapezförmigen Blechen, so dass sie zwischen den parallelen Trägern an einem Ende stärkeren Pfeil als am anderen erhalten. In die tiefsten Punkte werden auch hier vor dem Verzinken Entwässerungsröhrchen eingesetzt. Laschen auf der Innenseite der Bleche sind nur in den höchsten Punkten dieser Entwässerung zulässig; sonst dürfen sie nur einseitig aussen angebracht werden, weil sie sonst kleine Dämme für die Entwässerung bilden würden.

Wellbleche können Gefälle nach bestimmten Punkten erhalten, wenn man entweder die sie tragenden Balken verschieden hoch legt oder das Wellblech auf den Balken verschieden hoch auffüttert. Die Ueberdeckung der Tafeln muss mit der Gefällrichtung laufen. Befonders wichtig ist das völlige Vermeiden der Anbringung von Nieten oder Schrauben in den Wellenthälern, da diese den Wasserabzug in den Thälern hindern und die zugehörigen Löcher gewöhnlich den ersten Angriffspunkt für den Rost bilden.

b) Feuchtigkeitschutz für Träger, Balken und Lagerhölzer.

Hölzerne Balken und Lagerhölzer sind diejenigen Theile der Decken, welche des sorgsamsten Schutzes gegen Feuchtigkeit bedürfen. Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die Auflagerung.

1) Bei Fachwerkwänden treten die Balkenköpfe frei zu Tage, sind also mit ihrem Hirnholze dem Wetter ausgesetzt. Als Schutzmittel werden hier verwendet:

α) Ueberhängende Gestaltung der Balkenköpfe, welche oben mit stark geneigtem Wasserfchlage, darunter Wassernase, beginnt.

β) Benageln mit Blechkappen. Dabei soll das Blech nicht unmittelbar auf dem Hirnholze liegen, damit sich das Wasser nicht zwischen Blech und Holz fest faugt, das Holz nun dauernd anfeuchtend.

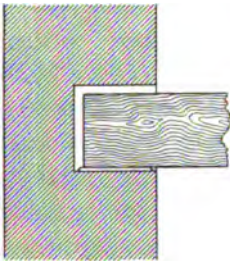
γ) Benageln mit Hirnbrettern. Auch hier sollen zwischen die Balken und die

Hirnbretter Luftklötze gebracht werden, damit die Luft die Poren des Hirnholzes frei umspülen kann; der so entstandene Zwischenraum wird nach oben durch ein Schutzblech mit Wassertisch geschlossen.

8) Bestreichen der Hirnenden mit Theer oder sonstigen wasserdichten Decken ist bedenklich, weil man in solcher Weise leicht die Feuchtigkeit im Balken einschließt und diesen zum Stocken bringt.

2) Bei massiven Wänden läßt man die Balkenköpfe nicht bis zur Außenfläche durchgreifen, sondern lagert sie nur in die Wand, um sie nach außen durch massive Vormauerung zu schützen. Da letztere aber bei den gewöhnlichen Wanddicken nur schwach sein kann, und dann Feuchtigkeit in großen Mengen durchläßt, so ist auf das sorgsamste darauf zu halten, daß der in der Wand liegende Balkenkopf, abgesehen vom Unterlager, von allen Seiten von der Luft frei umspült werden kann

Fig. 240.



(Fig. 240). Vor der Hirnfläche soll eine wenigstens 2 cm weite Luftkammer frei bleiben, und die an die Seiten- und Oberfläche stoßenden Steine sollen, wie auch etwaiger Wandputz, 1 cm vom Balken entfernt bleiben, erstere wenigstens ohne Mörtel gegen den Balken gesetzt sein. Sehr gefährlich ist es, die Ummauerung in Mörtel gegen den Balken zu setzen, weil man so der Luftkammer die Lüftung nimmt.

Behufs künstlicher Lüftung der Balkenkammern wird empfohlen¹⁴⁹⁾, ein eisernes Rohr in die Mauer zu legen, so daß es alle Balkenkammern berührt, und in jeder einige Male anzubohren, andererseits diese Rohre in ein stark ziehendes Lüftungs- oder Rauchrohr münden und so dauernd die Luft aus den Balkenkammern anzufaugen.

Zweckmäßig ist auch die Auflagerung auf eine wasserdichte Zwischenlage (Blech, Cement- oder Asphaltlage, Dachpappe, Dachfilz u. dergl.) und das Auskleiden der ganzen Balkenkammer mit einem Theer- oder Pechanstrich oder einer Asphaltlage.

Fig. 241.

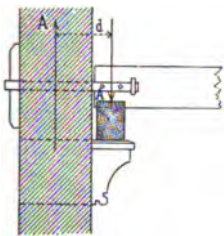
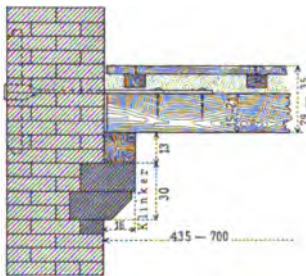


Fig. 242.



Unzulässig ist auch hier das wasserdichte Bestreichen des Balkenkopfes; dagegen ist in gefährlicher feuchter und dumpfer Lage das Imprägnieren der ganzen Balken sehr zu empfehlen.

Werden die Balken vor der Wand aufgelagert (Fig. 241 u. 242), so ergibt sich die Lüftung der Köpfe von selbst; hier bedarf höchstens das Lager auf

Stein eines Schutzes gegen aufsteigende Feuchtigkeit.

3) Zwischenwände werden von den Balken ganz durchdrungen; hier soll auch trockene Ummauerung oder ein Luftraum um den Balken und nöthigenfalls Wassertisch des Lagers verwendet werden.

Die aufsteigende Mauerfeuchtigkeit ist namentlich bei tiefer Lage der Balken zu fürchten, weshalb besonderer Schutz der Lagerflächen in Balkenkellern, so wie der über nicht ganz trockenen Kellerkappen eingebetteten Lagerhölzer die Regel bilden sollte.

¹⁴⁹⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 551.

Eine auch unter ungünstigen Verhältnissen völlig gegen Feuchtigkeit gesicherte Fußbodenlagerung in schlechter Bettung nach *Klette*¹⁵⁰⁾ ist in Fig. 243 dargestellt.

In gut angefrischene Belageisen Nr. 6, welche in die Bettung gelegt sind, lagert man trapezförmige Holzlager *l* so ein, daß sie nach oben etwas gegen die Belageisen vorstehen, indem man sie in eine Füllung *m* aus heißem, weichem Gufsasphalt eindrückt; den vorquellenden Asphalt streicht man über den Flanschen der Belageisen aus und drückt in den thunlichst noch weichen Asphalt eine die ganze Bettung abdeckende Lage *k* von Asphaltfilz (z. B. solchen von *Büfcher & Hofmann* in Neustadt-Eberswalde) ein, deren Ränder gegen die Asphaltfüllung *m* noch durch einen heißen Anstrich aus Pech und Goudron abgedichtet werden. Die auf die Holzlager genagelten Bretter liegen auf der Lage *k* von Asphaltfilz nicht völlig auf, so daß noch eine dünne absondernde Luftschicht überbleibt. Die Ränder des Fußbodens werden gegen die unter den hier gedachten Verhältnissen wohl auch feuchten Wände mittels Asphaltfuge abgefondert, und so ruhen alle Holztheile in einem für die Feuchtigkeit vollkommen undurchdringlichen Bette.

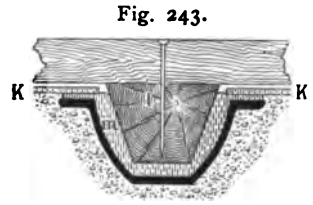


Fig. 243.

Die Balken sollen auf ihre ganze Länge thunlichst trocken und luftig liegen; hieraus hauptsächlich erklärt sich das oben gestellte Verlangen nach reiner, trockener und poröser Ausfüllung der Balkenfache. Hat man vollkommen befriedigenden Füllstoff nicht zur Verfügung, so ist das Anstreichen der vier Balkenseiten mit Holztheer zu empfehlen. Bei Balkenlagen des nicht unterkellerten Erdgeschosses muß aus gleichem Grunde ein 0,8 m bis 1,0 m hoher, durch die Grundmauern nach außen gelüfteter Hohlraum unter der Balkenlage geschaffen werden; in den Erdboden gelagerte Balken faulen ohne besondere Vorichtsmaßregeln nach ganz kurzer Zeit. Auch bei Balkenkellern muß wegen des vergleichsweise hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Kellerluft für dauernde Lüftung gesorgt werden.

Unforgfältige Behandlung der Balkenlagerung bildet meist den Grund zur Entwicklung des Hauschwamms¹⁵¹⁾, dessen Beseitigung nach dem einmal eingetretenen Entstehen sicher nur durch völligen Umbau der angegriffenen Theile zu erreichen ist. Der sicherste Schutz ist das Vorbeugen durch trockene luftige Lagerung; daher ist auch die massive Auswölbung der Balkenfache nach Fig. 244 nicht zu empfehlen.



Fig. 244.

151.
Eiserne
Träger.

Eiserne Träger sind den Einflüssen der Feuchtigkeit nicht in dem Maße unterworfen, wie Holzbalken, und sollen daher an ungünstigen Stellen diese ersetzen. Sie sind jedoch vor Rost durch wasserdichten Anstrich zu schützen, welcher am besten aus einer Deckung mit heißem Leinöl in der Fabrik, einer Grundirung mit Bleimennige nach der Abnahme, einer zweiten nach dem Verlegen und einem doppelten oder dreifachen Oelfarbenanstriche nach Fertigstellung der Eisen-Construction besteht. Jedem Anstriche muß gründliche Reinigung vorangehen. In völlig gesicherter Lage unterbleibt der Anstrich. Da, wo die Träger dauernd der Feuchtigkeit ausgesetzt sind, z. B. in mit Dämpfen gefüllten Räumen, ist dieser Schutz meist ungenügend; die Träger sollen dann verzinkt werden, ein Verfahren, das von vielen Fabriken jetzt bis zu 10 m Stücklänge ausgeführt wird. Die Verzinkung soll als letzte vorbereitende Arbeit vorgenommen werden, damit etwaige Nietungen, Lochungen u. dergl.

¹⁵⁰⁾ D. R.-P. Nr. 31263 u. 36769.

¹⁵¹⁾ Siehe: Theil I, Band 1, erste Hälfte (Art. 147, S. 176) dieses »Handbuches« — ferner: Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 297 — endlich: Deutsche Bauz. 1888, S. 115.

den Zinküberzug mit erhalten. Es mag hier noch das bei Maschinentheilen schon vielfach verwendete Verfahren von *Bower-Barff*¹⁵²⁾ erwähnt werden, nach welchem durch Zuführen von Wasserdampf und heißer Luft zu dem in einem Ofen erhitzten Eisen eine fest haftende und weitere Oxydation ausschließende Schicht von Magnet-oxydul (Fe_3O_4) auf der Oberfläche gebildet wird. Die bisherigen Erfahrungen lassen dasselbe auch für nicht weiter zu bearbeitende schwere eiserne Bauteile geeignet erscheinen.

Bezüglich der ganz in Cement-Mörtel oder Cement-Beton eingelagerten Eisentheile, z. B. der Träger in Decken aus Cement-Beton oder Cement-Mauerwerk, ist die Beobachtung gemacht worden, daß sie selbst in etwas feuchter Lage vor dem Rosten geschützt sind, wahrscheinlich weil sich das Rosten hindernde Verbindungen des Eisens mit den Bestandtheilen des Cementes auf der Eisenoberfläche bilden. Diese Erscheinung ist besonders wichtig für die Drähte in *Rabitz*- oder *Monier*-Platten. Man hat kein Bedenken getragen, eiserne Träger selbst dann in Beton vollkommen unzugänglich einzubetten, wenn sie auch nach ihrer Lage dauernd der Feuchtigkeit ausgesetzt sind; ja man hat bei bedeutenden Bauwerken in dieser vollständigen Einbettung das beste Mittel zum Schutze unangefrichener und nicht verzinkter Eisentheile vor dem Roste erkannt¹⁵³⁾.

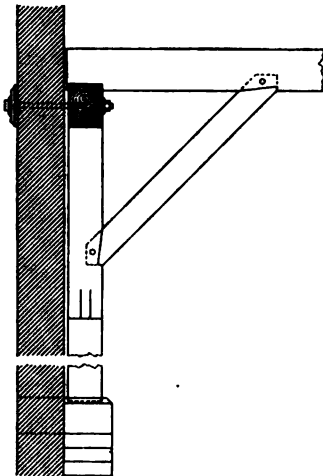
112.
Eisentheile
in Cement
gelagert.

c) Feuchtigkeitsschutz für die Freistützen.

Freistützen bedürfen eines Schutzes gegen Feuchtigkeit vorwiegend, wenn sie aus Holz bestehen. Kann ein erhebliches Maß von Feuchtigkeit den Stützenfuß erreichen, so ist die Verwendung von Holz ausgeschlossen. Da die Stützen meist steinerne Sockel erhalten, so sind sie der Einwirkung der im Mauerwerk stets enthaltenen Feuchtigkeit immer ausgesetzt, und zwar mit der unteren Hirnfläche, welche

113.
Hölzerne
Freistützen.

Fig. 245.



dafür besonders empfindlich ist. Man soll daher die Stützen nur unter günstigsten Verhältnissen unmittelbar auf den Stein setzen; im Allgemeinen soll eine Zwischenlage zwischen beide gebracht werden, welche am besten aus einer Kupfer- oder Bleiplatte, weniger gut aus einem kurzen Stücke Querholz besteht.

Im Freien muß man für schnellen Abfluß des Tagewassers vom Fuße sorgen, daher die unterliegenden Steine vom Umfange des Holzes aus stark abschrägen und die Stütze nicht, wie es sonst die Regel bildet, in eine Vertiefung des steinernen Unterbaues stellen oder sie mit diesem verdollen, wie dies für geschützte Lage z. B. in Fig. 245 dargestellt ist.

Hohle eiserne Stützen können vom Wasser gefährdet werden, wenn sie, dem Froste ausgesetzt, als Abfallrohre benutzt oder so angeordnet sind, daß unbe-

114.
Eiserne
Freistützen.

absichtiger Weise Wasser hineingelangen kann. Die Benutzung als Abfallrohr ist nicht zu empfehlen; läßt sie sich nicht umgehen, so setze man ein besonderes, wo möglich gußeisernes Abfallrohr in die Stütze, lasse diese unten völlig offen, und

¹⁵²⁾ Siehe: Theil I, Band 1, erste Hälfte (Art. 209, S. 205) dieses „Handbuches“ — ferner: Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1883, S. 141.

¹⁵³⁾ Siehe: *M. am Ende. Agricultural hall, London. Engineer*, Bd. 62, S. 399.

durchbohre ihre Wandungen mit kleinen Löchern in nicht zu weiten Abständen, um bei etwaiger Undichtigkeit dem Wasser schnellen Abfluss und etwa sich bildendem Eise Gelegenheit zur Ausdehnung zu geben, da letzteres anderenfalls die Säule zerprengt. Auch wenn keine Wasserabführung durch die Säule geht, bohre man Entwässerungslöcher so ein, daß zufällig, z. B. während des Baues, hineingelangesenes Wasser freien Abfluss findet ¹⁵⁴⁾).

d) Schutzmittel gegen Schalldurchlässigkeit.

115.
Hell-
hörigkeit.

In den meisten Fällen ist die Verbreitung und Fortpflanzung des Schalles, die fog. Hellhörigkeit der Decken-Constructions, störend; am lästigsten dürfte sie wohl in Wohnhäusern sein, weil die verschiedenen Geschosse in der Regel nicht von einer und derselben, sondern von verschiedenen Familien bewohnt werden.

Es wurde bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 295, S. 372) dieses »Handbuches« — bei Besprechung der Schalldurchlässigkeit von Wänden — gesagt, daß in der fraglichen Richtung verhältnißmäßig wenige Erfahrungen vorliegen; die Physik hat sich mit der Prüfung der Stoffe auf ihre Schalldurchlässigkeit noch wenig oder gar nicht beschäftigt.

Außerst ungünstig sind bezüglich der Schalldurchlässigkeit die am häufigsten angewandten hölzernen Balkendecken mit darüber befindlichem Holzfufsboden, und unter diesen sind es besonders die Balkenlagen ohne Ausfüllung der Fache, welche in diesem Sinne am störendsten sind. Allein auch bei gewissen eisernen Decken-Constructions sind Verbreitung und Fortpflanzung des Schalles sehr stark und eben so bei Fußböden, welche aus einfachen, dünnen, nicht durch unelastische Stoffe am Schwingen verhinderten Mörtelplatten bestehen.

So weit die vorliegenden Erfahrungen ausreichen, giebt es — abgesehen von der Herstellung sehr schwerer und daher durch mächtige Kräfte nicht in Schwingungen zu versetzender Decken, wie z. B. der ganze Windelboden bei Holzbalken (siehe Art. 30, S. 41) oder Ausrollen mit vollen Backsteinen (siehe Art. 61, S. 63) — vier Hauptmittel zur Bekämpfung der Schalldurchlässigkeit von Decken:

- 1) Abfonderung des Fußbodens von der Balkenlage,
- 2) Abfonderung der Decke im engeren Sinne vom Gebälke,
- 3) Anordnung von Hohlräumen und
- 4) Zusammensetzung voller Decken aus Lagen, welche sich gegenseitig die Eigenschaft nachtönender Platten nehmen.

116.
Abfonderung
des
Fußbodens
von der
Balkenlage.

Durch das erste Mittel soll verhindert werden, daß die Decken-Construction aus einem einzigen dichten, zusammenhängenden Körper bestehe; man soll vielmehr Fußboden und Balkenlage durch geeignete Stoffe von einander absondern. Dies kann in zweifacher Weise geschehen.

α) Man lege die Fußbodenbretter nicht unmittelbar auf die tragenden Theile, sondern ordne über diesen zunächst eine aus einer porösen Masse bestehende Auffüllung an, verlege in diese thunlichst fatt besondere Lagerholzer und befestige die Fußbodenbretter erst auf diesen. Zu diesem Ende ist es nothwendig, daß man bei Holzbalkenlagen einen besonderen Bretter-Zwischenboden herstellt, auf dem die Auffüllung lagert. Dies kann entweder nach Art der Einschubböden (siehe Art. 32, S. 42) geschehen oder in der in Oesterreich üblichen Constructionsweise der Decken;

¹⁵⁴⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 608.

dort kommt auf die Tragbalken zunächst ein sog. Sturzboden (aus ungehobelten Brettern) zu liegen, auf den die Auffüllung aufgebracht wird.

Für die Auffüllung empfiehlt sich Sand oder Steinkohlenlösch¹⁵⁵⁾. Je höher diese Schicht ist, desto günstiger ist die Wirkung; unter 10 cm sollte man kaum gehen; doch wird man nur selten eine noch grössere Höhe wählen, weil sonst die Constructionshöhe, welche die Decke in Anspruch nimmt, eine zu bedeutende wird.

Muster von Anordnungen der hier vorgeführten Art für die verschiedenartigsten Decken-Constructions zeigen Fig. 51 (S. 40), 84 (S. 52), 93 (S. 55), 94 (S. 56), 96 (S. 58), 106 (S. 63), 107 (S. 64) u. 150 (S. 81).

β) Will man die eben beschriebene, immerhin mit nicht unbedeutenden Kosten verbundene Anordnung umgehen, so kann man der Hellhörigkeit der Decken wohl auch dadurch begegnen, daß man zwischen Fußbodenbrettern und Gebälkoberkante Pappdeckel, Filz, Isolir-Haarfilz etc. anbringt. Dieses Mittel ist allerdings weniger wirksam, als das erstgedachte. Eine Anordnung dieser Art, unter vollständigem Wegfall der Füllung, ist nach dem Muster leichter amerikanischer Holzhäuser in Fig. 74 (S. 47) dargestellt.

Das zweite der angegebenen Hauptmittel beruht darauf, daß man die Decke im engeren Sinne von der Balkenlage völlig abfondert, mit anderen Worten, daß man zwischen beiden einen Hohlraum anordnet. Diese Abfondierung muß eine vollständige sein, d. h. die einzelnen Theile dieser zwei Schichten dürfen an keiner Stelle mit einander in Zusammenhang stehen; würde letzteres der Fall sein, so würde der Hohlraum nicht nur nicht vortheilhaft, sondern sogar schädlich auftreten; er würde als Resonanzkasten wirken und den fortgepflanzten Schall verstärken. Aus gleichem Grunde müssen in den Decken-Constructions überhaupt alle Hohlräume vermieden werden, welche eine gleiche Wirkung hervorbringen könnten; deshalb unterstopfe man auch die Fußbodenbretter auf das sorgfältigste. Eine vollständige Abfondierung von Gebälk und Decke wird man allerdings niemals erzielen können, weil die Wände, auf denen die Decken ruhen, stets eine gewisse Verbindung dieser beiden Schichten hervorrufen werden; man muß deshalb dahin trachten, daß dieselbe möglichst unschädlich sei.

^{217.}
Abfondierung
der Decke im
engeren Sinne
vom Gebälke.

Ein Verfahren, die in Rede stehende Abfondierung zu erzielen, wurde bereits in Art. 21 (S. 35) mitgetheilt. Dort wurde aus anderen Gründen das in Fig. 40 (S. 35) dargestellte Verfahren als zweckmäßig bezeichnet, wonach die Deckenschalung nicht an die Unterflächen der eigentlichen Tragbalken, sondern an besondere sog. Fehl- oder Blindbalken genagelt wird; die Unterfläche der letzteren ist um einige Centimeter tiefer, als jene der ersteren gelegen¹⁵⁶⁾.

Ein anderes Verfahren zu gleichem Zwecke, welches auch für eiserne Decken-Constructions anwendbar ist, besteht darin, daß man in einem Abstände unter dem Gebälke eine zweite, leicht ausführbare Decke, die wenig Constructionshöhe in Anspruch nimmt, anbringt. Hierzu sind *Rabitz*- und *Monier*-Decken (siehe Art. 45, S. 52 u. Art. 46, S. 53) besonders geeignet, und es kann dieses Mittel auch bei schon bestehenden Decken, welche stark schalldurchlässig sind, in Anwendung kommen.

Die Verwendung der *Rabitz*-Platte als nahezu vollständig unabhängigen Constructionstheiles unter einer Balkenlage ist durch Fig. 85 (S. 52) erläutert; auch die

¹⁵⁵⁾ Von den Kesselfeuerungen herrührende Schlacken und Steinkohlenasche, möglichst rufsfrei. — Vergl. hierüber auch Art. 27 (S. 39).

¹⁵⁶⁾ Vergl.: Deutsche Bauz. 1892, S. 119.

in erster Linie aus der Rücksicht auf Feuerficherheit hervorgegangene amerikanische Anordnung in Fig. 74 (S. 47) kann hier angeführt werden. Letztere kann jedoch ohne eine gewisse Verbindung der Decke im engeren Sinne mit den Balken durch die Nägel nicht bestehen, und auch eine ganz selbständige dünne *Rabitz*- oder *Monier*-Decke würde des starken Durchhängens wegen auf Schwierigkeiten stoßen, weshalb auch sie wenigstens durch Hängeschlingen aus Draht mit den Balken in Verbindung zu bringen fein wird (siehe Fig. 85, S. 52). Damit die untergehängte Decke dann nicht als Schallboden wirke, decke man sie mit einer dünnen Schicht eines schlechten Schallleiters (Sand, Asche, Kieselguhr, Torfgrus) ab (siehe Fig. 96 u. 97, S. 58 u. 59). Auch Samenflügel sind für diesen Zweck empfohlen¹⁵⁶⁾; sie werden jedoch als organischer Stoff und wegen ihrer Feuergefährlichkeit von anderer Seite bekämpft¹⁵⁷⁾.

118.
Anordnung
von
Hohlräumen.

Die Anordnung von Hohlräumen in einer sonst vollen Decke als drittes Mittel kommt namentlich bei den aus Thon gebrannten Terracotten oder Hohlziegeln für die Fachfüllungen nach den verschiedenen Mustern (siehe Fig. 80 u. 81 [S. 51], 115 [S. 68], 120 [S. 70], 121 bis 124 [S. 71]) in Frage. Diese Hohlräume wirken in der besprochenen Richtung weniger unmittelbar, als mittelbar dadurch, daß sie einerseits die Fußbodenlage von der Deckenlage in mehr oder weniger wirksamer Weise von einander absondern, andererseits die Herstellung einer sehr dicken und dabei doch nicht allzu schweren Decke aus einem vergleichsweise schlechten Schallleiter ermöglichen. Neben der großen Dicke verhindern auch die die Gleichmäßigkeit des Gefüges störenden Fugen, welche die ganze Decke durchsetzen, eine Schallübertragung durch Schwingungen, wie bei einem Schallboden.

119.
Zusammen-
setzung
aus mehreren
Lagen.

Das vierte Mittel, die Zusammensetzung aus mehreren Lagen, kommt namentlich da zur Verwendung, wo die Fachfüllungen aus plattenartigen Körpern bestehen, also namentlich bei den Betondecken. Platten von in sich gleichartigem Gefüge geben selbst bei ziemlicher Stärke gute Schallböden, namentlich bei großer Festigkeit. Man kann schalldämpfend auf sie einwirken, wenn man sie mit einer unelastischen, weichen Schicht auf die ganze Ausdehnung in innige Berührung bringt, welche das Entstehen regelmäßiger Schwingungen verhindert. Als ein für Wohnräume häufig schon ziemlich erfolgreiches Mittel ist hier das Belegen einer dünnen Plattendecke aus Beton mit Korkteppich aufzuführen.

In wirksamerer Gestalt tritt dieses Mittel auf, wenn die feste tragende und gewöhnlich stark schallende Platte zunächst mit einer losen, den Schall schlecht leitenden Schicht bedeckt wird, zu der man z. B. ganz mageren Schlacken-Beton verwenden kann. Anordnungen solcher Art für verschiedene Decken-Constructions zeigen Fig. 118 (S. 70), 150 bis 153 (S. 81), 135 (S. 76) u. 82 (S. 51). Noch wirksamer wird dieses Mittel fein, wenn man die lose, dumpfe Schicht auch oben wieder mit einer festeren für die Fußbodenausbildung abdeckt, da dann die gegenseitige Störung der Schwingungen der dünnen Platten in zwei Ebenen stattfindet. Eine derartige Ausführung ist in Fig. 230 (S. 128) angedeutet.

¹⁵⁷⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1892, S. 139.

B. Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von CARL KÖRNER.

8. Kapitel.

Allgemeines.

Ein Gewölbe ist ein System von einzelnen, besonders gestalteten und nach bestimmten Gesetzen vereinigten Körpern, welche sich in ihren Seitenflächen an einander fügen und in ihrer Gesamtheit sich gegen feste, selbständig auftretende Stützkörper in der Weise setzen, daß sie den Raum zwischen diesen Stützkörpern nicht allein frei schwebend überdecken, sondern je nach Umständen auch fähig sind, noch fremde Lasten mit Sicherheit zu tragen.

120.
Erklärung.

Im Allgemeinen ist vorwiegend Steinmaterial, natürliches oder künstliches, für die Gewölbkörper in Betracht zu ziehen, so daß ein Gewölbe als ein fog. massives Bauwerk anzusehen ist.

Hiernach heißen gewölbte Decken auch Steindecken oder massive Decken.

Die Kunst der Herrichtung von Gewölben, wie solche schon in grauer Vorzeit bei den verschiedensten Anlagen, wie bei Canälen, Thoren, Brücken oder bei den Deckenbildungen von Grabcapellen, Schatzhäusern, Thermen, Tempeln u. s. w. auftreten, muß als eine sehr alte gelten, wie die neueren Forschungen auf kunstgeschichtlichem Gebiete ergeben haben und worüber bereits in Theil II, Band 1 dieses »Handbuches« das Nähere mitgetheilt worden ist.

121.
Geschichtliches.

Die eigentliche höhere Entwicklung des Gewölbebaues ist jedoch den Römern zuzuschreiben. Sie waren fähig, unter Verwendung des ihnen reichlich zu Gebote stehenden, ausgezeichneten Baumaterials und unter geschickter Verwerthung der ihnen im Bau von Gewölben überkommenen Kenntnisse die engeren Grenzen der Bildung derartiger Constructionen zu überschreiten und Gewölbebauten zu schaffen, welche noch heute selbst in ihren Resten Bewunderung erregen und den Anspruch erheben, zu den Groß-Constructionen gezählt zu werden. Weisen dieselben auch eine große Anhäufung von Massen auf, die unter einander verkittet sind, so ist die Kühnheit, mit welcher die Ausführung derselben vorgenommen wurde, doch zugleich auch wieder ein lebendiger Anstoß zu neuerem Schaffen geworden.

Die byzantinische Baukunst hat sich die Kunst der Römer zu Nutzen gemacht und ihren Gewölbebauten namentlich durch geringere Massenbildung einen schwungvollen Ausdruck zu geben gewußt und somit einen weiteren Fortschritt im Gewölbebau veranlaßt, welcher sich denn auch später in der romanischen Baukunst wiederum mit zur Geltung gebracht hat. Blieb in der romanischen Baukunst der Gewölbebau in Folge der Grundrissanordnung ihrer Basilika mit vorwiegend quadratischer Theilung in verhältnißmäßig einfacher Ausbildung, so konnte beim Verlassen dieser Grundrisform ein weiterer Fortschritt in der Anlage und Ausführung der gewölbten Decke nicht unterbleiben. Das Zusammenfügen von quadratischen mit rechteckigen Grundrisstheilungen der christlichen Kirchen beseitigte die beschränkte Anordnung des Grundrisses der romanischen Basilika und forderte den denkenden Baumeister des Mittelalters auf, ein besonderes Gewölbesystem zu erfinden, welches in zweckmäßiger, sicherer, leichter und schöner Weise sein reich gegliedertes Bauwerk im Inneren überdeckte. Den Baumeistern der gothischen Baukunst ist es gelungen, ein derartiges Wölbesystem zu schaffen. Erhabene Meisterwerke sind in den Domen dieser Bauzeit als strahlende Vorbilder der Wölbkunst geboten; stets und ständig werden sie Bewunderung und Nachahmung finden!

Von diesem Zeitabschnitt an haben neue Wölfsysteme für Groß-Constructionen sich nicht mehr gezeigt. Für Decken als Groß-Constructionen, namentlich für Profanbauten, ist das Steinmaterial durch das Eisen zurückgedrängt, und bei den mit gewaltigen Abmessungen behafteten Raumüberdeckungen hat dieses Material die Führung übernehmen müssen.

Allein für Kirchen- und Profanbauten von kleinerem oder größerem Umfange werden gewölbte Decken nach wie vor in geeigneter Weise in Anwendung gebracht.

Die Bestandtheile der »gewölbten Decke« oder kurz des »Gewölbes« haben Benennungen erhalten, welche im Folgenden nach Fig. 246 zusammengestellt sind.

122.
Bestandtheile
und
Bezeichnungen.

1) Der Gewölbkörper oder das eigentliche Gewölbe *abcd* ist die Gesamtheit der die Decke des Raumes bildenden einzelnen Steine.

2) Widerlagsmauern oder Widerlager *W* sind die das Gewölbe stützenden Mauerkörper; sie haben dem durch den Gewölbkörper entstehenden Gewölbschube sicheren Widerstand zu leisten.

3) Stirnmauern oder Schildmauern *S* sind seitliche Begrenzungsmauern eines mit einem Gewölbe überdeckten Raumes, welche nicht als Widerlager auftreten. Sind solche Schildmauern nicht vorhanden, so nennt man das Gewölbe selbst ein offenes Gewölbe.

4) Laibung *B* ist die innere oder untere Gewölbfäche.

5) Rücken *C* ist die äußere oder obere Gewölbfäche.

6) Gewöblinie, Bogenlinie oder Gewölbbogen ist eine gesetzmäßig gebildete krumme Linie *aec*, bzw. *bfd*, welche die Gewölbfächen *B*, bzw. *C* erzeugt. Ist diese Gewöblinie eine gerade Linie, so entsteht ein scheinrechtes oder gerades Gewölbe (scheinrechter Bogen, Sturz); ist dieselbe eine gerade gebrochene Linie *abc* (Fig. 247), so erhält man das scheinrechte Gewölbe mit Stich; die Höhe des Stiches ist *db*.

7) Leitlinie *pm* ist eine gerade Linie oder eine gesetzmäßig gebildete krumme Linie, an welcher die Ebene der Gewöblinie der beabsichtigten Erzeugung der Gewölbfäche gemäß fortbewegt, bzw. um welche jene Ebene gedreht werden kann. Die Leitlinie wird zur Gewölbaxe, wenn bei jeder neuen Stellung der Ebene der Gewöblinie die einander entsprechenden Punkte der Bogenlinie auch stets den ihnen zugewiesenen entsprechenden Abstand von dieser Leitlinie bekommen. Die Länge der Gewölbaxe bestimmt die Länge des Gewölbes. In einzelnen Fällen kann auch eine gerade Linie die Erzeugende und eine gesetzmäßig gebildete krumme Linie die Leitlinie der Gewölbfächen werden.

Fig. 246.

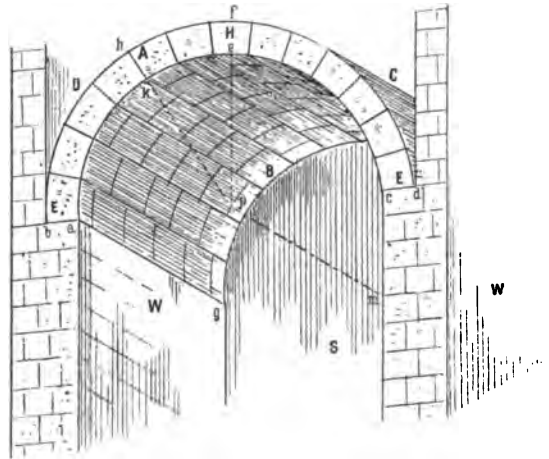
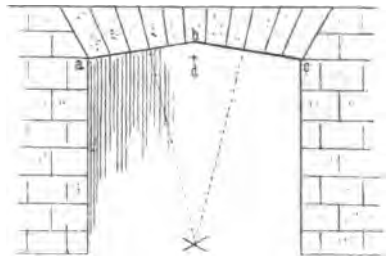


Fig. 247.



8) Scheitelpunkt (e in Fig. 246, b in Fig. 247) ist derjenige Punkt der inneren Gewöblinie, für welchen eine höchste Tangente parallel zur geraden Verbindungslinie der Kämpferpunkte fest gelegt werden kann.

9) Scheitellinie ist diejenige Linie, deren Elemente die sämtlichen Scheitelpunkte der inneren Gewöblfläche sind.

10) Gewölbanfang oder Gewölbfufs ab , bzw. cd (Fig. 246) ist der untere, unmittelbar auf dem Widerlager beginnende Gewölbtheil.

11) Widerlagsfläche oder Gewölbföhle ist diejenige Fläche, deren Elemente durch die Gesamtheit des Gewölbfufses gebildet sind.

12) Kämpferlinien ag sind die Schnittlinien der inneren Gewöblfläche mit der Widerlagsfläche. Die Elemente der Kämpferlinie sind die Kämpferpunkte.

13) Spannweite oder Sprengweite ac ist die Entfernung der Kämpferpunkte in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie.

14) Pfeilhöhe oder Stichhöhe pe ist die grösste, lothrecht genommene Ordinate der erzeugenden Bogenlinie, von der Verbindungslinie der in ihrer Ebene gelegenen Kämpferpunkte aus gemessen.

15) Pfeil- oder Stichverhältnifs ist die Zahl, entstanden aus der Mafszahl der Pfeilhöhe, getheilt durch die Mafszahl der Spannweite.

16) Haupt des Gewölbes oder Gewölbestirn $abfedc$ ist die Fläche zwischen der inneren und äufseren Bogenlinie in der Ebene der Erzeugenden (Vor- und Hinterhaupt).

17) Gewölbsteine A sind die besonders, meistens keilförmig gestalteten und an einander gefügten Steinkörper. Besonders hervorzuhebende Gewölbsteine sind die Anfänger oder Kämpfersteine E , welche unmittelbar auf dem Widerlager ruhen, und die Schlufssteine H , welche die Scheitellinie enthalten.

18) Gewölbfgungen kk sind die Trennungen zwischen den einzelnen Wölbsteinen in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie; sie liefern die Theilung eines Gewölbes.

Flächen, welche das Gewölbe schneiden, indem dieselben alle Fugen von der Beschaffenheit kk enthalten, heifsen Lagerfugenflächen, ihre Schnittlinien mit der Laibung, bzw. mit dem Rücken des Gewölbes heifsen Lagerfugenkanten oder kurzweg Lagerfugen. Dagegen nennt man Stofsfugenflächen diejenigen Schnittflächen, welche durch die Ebenen der erzeugenden Bogenlinie beim Durchschnit mit dem Gewölbkörper entstehen. Die Schnittlinien dieser Flächen mit der inneren, bzw. äufseren Gewöblfläche heifsen Stofsfugenkanten oder kurzweg Stofsfugen. In einem Gewölbe darf niemals eine sog. Schlusfuge, d. h. eine Fuge, welche die Scheitelpunkte enthalten würde, vorhanden sein.

Die Lagerfugenflächen begrenzen die Wölbschichten oder Wölbscharen. Die Stofsfugenflächen theilen die einzelnen Wölbschichten in Gewölbsteine ab. Die Kämpferschicht enthält sämtliche Kämpfersteine; die Schlufssteinschicht wird aus sämtlichen Schlufssteinen gebildet.

19) Gewölbstärke oder Gewölbdicke wird ausgedrückt durch das Längenmafs der Gewölbfgungen, im Scheitel durch das Höhenmafs in der Mitte des Schlufssteines.

20) Gewölbeschenkel heifsen die rechts und links von einer durch die Scheitellinie gelegten lothrechten Ebene befindlichen Gewölbstücke.

21) Gewölbzwickel D nennt man den Zwischenraum vom Gewölbrücken bis zu der über der Kämpferlinie aufgeführten Widerlagsmauer.

Alle Bezeichnungen, welche hier für ein Gewölbe gegeben sind, werden auch für die sog. Mauerbogen, Thür- oder Fensterbogen (siehe hierüber Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abschn. 1, B: Wand-Oeffnungen) dieses »Handbuches« unter b), so wie für die sog. Strebebogen beibehalten, d. h. für Gewölbe von geringer Längenabmessung, von denen erstere zum oberen Abschluss von Maueröffnungen, letztere zur besonderen Absteifung von Gewölbwiderlagern dienen.

123.
Eintheilung
der gewölbten
Decken.

Im Hochbauwesen werden Gewölbe vorzugsweise zum oberen Abschluss von seitlich durch Mauerwerk begrenzten Räumen, also zur Herstellung von raumabschließenden Decken in Anwendung gebracht. Gestaltung des Grundrisses, Raumordnung und Raumtheilung setzen sich mit der Deckenbildung der Räume jederzeit in ein Abhängigkeitsverhältniss.

Bei der Mannigfaltigkeit in der Durchbildung des Grundrisses; bei der Verschiedenheit zwischen den Mauermassen, welche als feste, dem Gewölbschube widerstehende Stützkörper bei der Raumordnung in Frage kommen, und den Mauerkörpern, welche nur als seitliche Begrenzungen des Raumes auftreten; bei der eingehenden Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften des zu Gebote stehenden Mauer- und Wölbmaterials; bei der Abwägung der Belastung der zu schaffenden Baukörper — haben sich für die Formgebung und Construction der den Räumen zuzuweisenden »gewölbten Decken« zahlreiche Gesichtspunkte und Forderungen ergeben, deren vollständige, richtige und zweckmäßige Beachtung und Erfüllung die hervorragendste Aufgabe im Bau der gewölbten Decken ist.

Die gewölbten Decken im Hochbauwesen zeigen im Vergleich mit den meistens offenen Gewölben des Ingenieurbauwesens einen weit größeren Reichthum an Form und an Gliederung der Anlage, so dass die eigentliche Gewölbetechnik vorzugsweise dem Gebiete des Hochbauwesens angehört.

Um bei der geschilderten Vielseitigkeit der Anordnung gewölbter Decken die Construction derselben in übersichtlicher Weise behandeln zu können, theilt man die für solche Decken maßgebend werdenden Gewölbe in besondere Gruppen ein. So vielfach nun die Zahl dieser Gruppen gebildet werden könnte, wenn auch die Eigenschaften von Gewölbformen mit berücksichtigt werden sollten, welche mehr in zweiter Linie Beachtung verdienen, so ist es doch möglich, die Gruppenzahl der in den Vordergrund tretenden Gewölbe wesentlich einzuschränken.

Im Großen genommen sind zwei Hauptgruppen der Gewölbe zu unterscheiden: cylindrische und sphärische Gewölbe.

Bei den cylindrischen Gewölben, für welche die Bezeichnung »cylindrisch« im weiteren Sinne des Wortes zu nehmen ist, gehören die Laibungsflächen der Gewölbe im Allgemeinen Cylinderflächen an, welche entstanden sind durch Fortbewegen einer ebenen, gesetzmäßig gebildeten krummen Linie als Erzeugende an einer geraden oder einer ebenen, bezw. räumlichen krummen Linie als Leitlinie, oder umgekehrt durch Fortbewegen einer

Fig. 248.

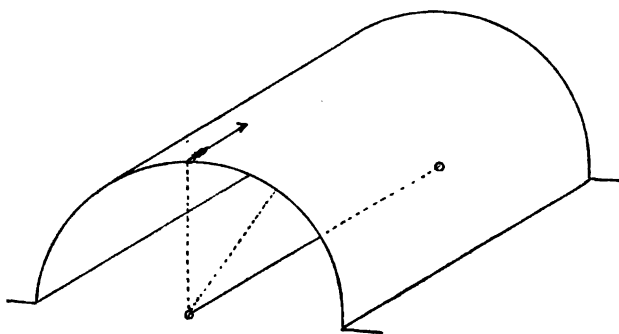
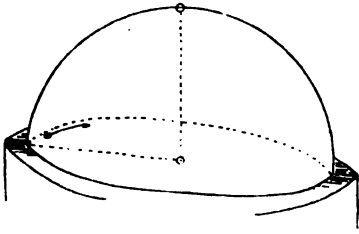


Fig. 249.



geraden oder einer krummen Linie als Erzeugende an einer ebenen krummen Linie als Leitlinie.

Bei den sphärischen Gewölben entsteht die Laibungsfläche durch Drehen einer ebenen, gesetzmäßig gebildeten krummen Linie um eine feste gerade Linie.

In der That sind aus dem einfachsten cylindrischen Gewölbe, durch einen Halbkreis in der Laibungsfläche erzeugt (Fig. 248), und aus dem einfachsten sphärischen Gewölbe, dessen Laibungsfläche einer Halbkugel (Fig. 249) angehört, die vielfachen später entwickelten Gewölbformen entstanden.

Von den Hauptgruppen umfaßt, benennt man die Glieder derselben folgendermaßen:

a) Cylindrische Gewölbe:

- 1) das Tonnen- oder Kufengewölbe;
- 2) das Kappengewölbe oder die preussische Kappe;
- 3) das Klostergewölbe;
- 4) das Muldengewölbe;
- 5) das Spiegelgewölbe;
- 6) das Kreuzgewölbe.

Den Uebergang vom cylindrischen Kreuzgewölbe zur Gruppe der sphärischen Gewölbe bildet

- 7) das gothische Kreuzgewölbe, und
- 8) das Fächergewölbe oder das Trichtergewölbe.

b) Sphärische Gewölbe:

- 9) das Kugel-, bzw. das Kuppelgewölbe, und
- 10) das böhmische Kappengewölbe.

Besondere Bildungen, deren Form wohl den Gewölbeformen entspricht, deren Construction aber wesentlich von der charakteristischen Durchbildung und Ausführung des in der Erklärung der Gewölbe gegebenen Wesens derselben abweicht, sind:

- 11) die Gufsgewölbe, aus einem Gufsmaterial (Gufsmörtel, Beton) gebildet, und
- 12) die hängenden Gewölbe, wobei die stützenden Widerlagstheile, von oben durch besondere Trag-Constructionen aufgehängt, frei schwebend gehalten werden.

Nach diesen Erörterungen sollen die einzelnen Gewölbe in Rücksicht auf ihre Gestaltung und Ausführung für die Anlage der gewölbten Decken näher besprochen werden.

Literatur

über »Gewölbe im Allgemeinen«.

LEYBOLD, L. Systematische Zusammenstellung der Gewölbeformen und Construction. Kaiserslautern 1856.

LEYBOLD, L. Systematische Zusammenstellung der Gewölbeformen und deren Construction. ROMBERG's Zeitschr. f. pract. Bauk. 1858, S. 3.

Vaulting and groining. Building news, Bd. 10, S. 951; Bd. 11, S. 22, 76, 112, 132.

DEJARDIN. Routine de l'établissement des voûtes, ou recueil de formules pratiques et de tables déterminant à priori et d'une manière élémentaire, le tracé, les dimensions et le métrage des voûtes d'une espèce quelconque. Neue Ausg. Paris 1865.

Handbuch der Architektur. III 2, c.

10

BOSC, E. *Étude pratique sur la construction des voûtes*. *Gaz. des arch. et du bât.* 1877, S. 46, 71, 99, 111, 122.

GOTTGETREU, R. Beitrag zur geschichtlichen Entwicklung der Gewölbe. *Zeitschr. f. Bauw.* 1879, S. 91.

Ueber Bruchsteingewölbe in magerem Cementmörtel. *Baugwks.-Ztg.* 1883, S. 246.

MENZEL, C. A. Der Gewölbebau dargestellt in Bezug auf Entstehung und Anwendung, Bau und Konstruktion, Tragfähigkeit etc. mit Berücksichtigung der Wölbungen der Thür- und Fenstersturze, der Rauchmäntel und der gewölbten Treppen. Herausg., verm. u. verb. von C. SCHWATLO. Halle 1866.

— 2. Aufl. von A. C. MENZEL & G. FRANKE. 1875.

EAGLES, T. H. *On vaulting*. *Builder*, Bd. 32, S. 496. *Building news*, Bd. 26, S. 625, 633, 635.

Vaulting. *Builder*, Bd. 32, S. 1035.

Construction der Gewölbe. HAARMANN's *Zeitschr. f. Bauhdw.* 1876, S. 7, 21.

9. Kapitel.

Tonnen- oder Kufengewölbe.

a) Gestaltung der Tonnengewölbe.

124.
Gerades
Tonnen-
gewölbe;
Halbkreis-
gewölbe.

Das einfache Tonnen- oder Kufengewölbe besitzt als Laibungsfläche die halbe Oberfläche eines geraden Kreiscylinders. Die Gewölbaxe steht also rechtwinkelig zur Ebene des erzeugenden Halbkreises, weshalb ein solches Gewölbe auch ein »gerades Tonnengewölbe« genannt wird. Jeder Schnitt, parallel zu dieser Ebene geführt, liefert wiederum denselben Halbkreis und diesem entsprechende Stoszfugenkanten. Jede Ebene, welche durch die Gewölbaxe geführt wird, schneidet die Laibungsfläche in geraden, der Gewölbaxe parallelen Linien oder geraden Lagerfugenkanten. Die Pfeilhöhe dieses Gewölbes ist gleich der halben Spannweite desselben, mithin wird das Pfeilverhältniß $\frac{1}{2}$.

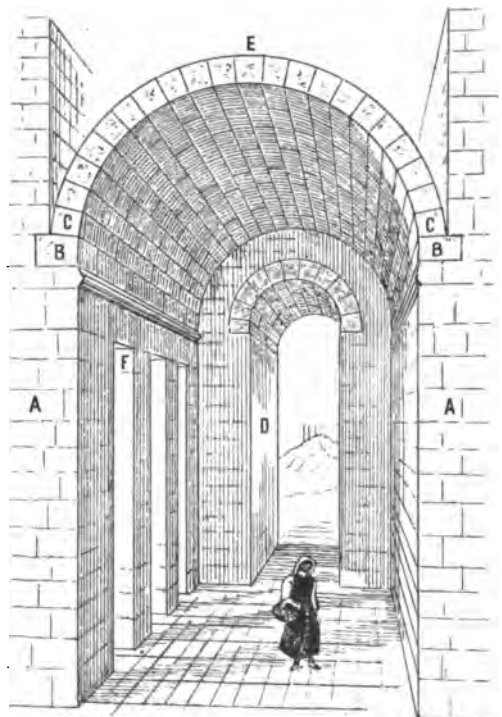
Fig. 250.

In Fig. 250 ist ein gerades, einfaches Tonnengewölbe dargestellt.

Die Rückenlinie desselben ist ein zur inneren Wölblinie concentrisch geführter Halbkreis, so daß für das Gewölbe überall die gleiche Gewölbfstärke vorhanden ist. Die Widerlagskörper *A* stützen das Gewölbe. Die eine Widerlagsmauer ist mit Oeffnungen versehen, welche unterhalb der Kämpferschicht *B* mit starken Steinquadern *F*, »geraden Sturzen«, überdeckt sind. Die Schildmauer *D* ist durchbrochen und in ihrer Oeffnung oben mit einem halbkreisförmigen »Mauerbogen« abgeschlossen.

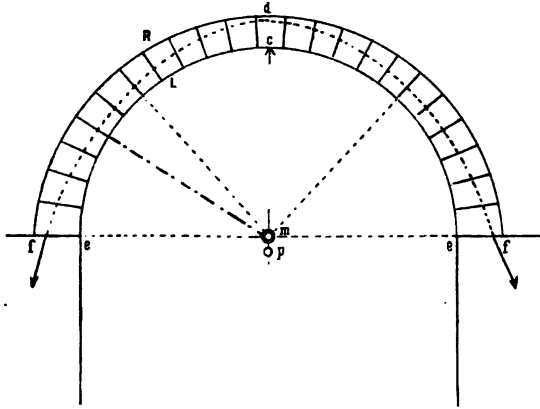
Die Stirn *BEB* des Gewölbes ist durch die radial gerichteten Gewölbefugen so getheilt, daß eine ungerade Anzahl gleich großer Theilungen der Wölb-schichten *B, C, E* entstanden, also eine Schlusfuge vermieden und die Anordnung einer Schlusstein-schicht *E* ermöglicht ist, welche zu beiden Seiten von symmetrisch liegenden Gewölbefchenkeln be-gleitet wird.

Fig. 250.



Die Lagerfugenkanten treten als gerade Linien auf, welche vom Vorhaupt bis zum Hinterhaupt durchlaufen, während die Stosfugenkanten, welche Theile des erzeugenden Halbkreises sind, bei den einzelnen Wölb-schichten in Verband gesetzt, gegen die Lagerfugenkanten geführt sind. Die einzelnen Wölbsteine haben eine keilförmige Gestalt. Die Gewölbefohle ist eine wagrechte Ebene; die Lagerfugenflächen stehen senkrecht zur Laibungsfläche und rechtwinkelig zur Stirn des Gewölbes, während die Stosfugenflächen rechtwinkelig zu den Lagerfugenflächen und in Ebenen auftreten, welche parallel mit der Gewölbstirn sind.

Fig. 251.

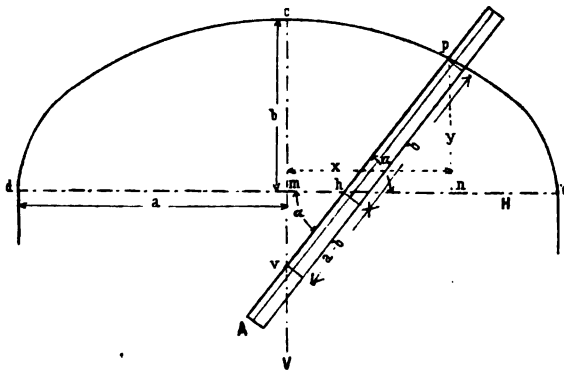


Aus statischen Gründen ist häufig die Rückenlinie R (Fig. 251) auch bei den einfachen geraden halbkreisförmigen Tonnengewölben kein zur inneren Wölblinie concentrischer Kreis, sondern ein Kreisbogen fdf mit dem Mittelpunkt p , welcher tiefer liegt, als der Mittelpunkt m der inneren Wölblinie L . Hierdurch tritt eine vom Scheitel cd aus bis zum Gewölbfuß ef stetig wachsende Gewölbstärke auf; der Fugenschnitt für das Gewölbe selbst erleidet aber hierdurch im Allgemeinen keine Aenderung.

Ist die Laibungsfläche eines geraden Tonnengewölbes die halbe Oberfläche eines elliptischen Cylinders, so entsteht das elliptische Tonnengewölbe. Ist in Fig. 252 die Pfeilhöhe mc die halbe kleine Axe der Ellipse, während die große

125.
Elliptisches
Tonnengewölbe.

Fig. 252.



Axe de die Spannweite giebt, so heisst ein solches elliptisches Gewölbe ein gedrücktes Tonnengewölbe, und andererseits wird ein elliptisches Gewölbe ein überhöhtes Tonnengewölbe (Fig. 253) genannt, wenn die halbe große Axe mc der Ellipse zur Pfeilhöhe und die kleine Axe de derselben zur Spannweite genommen wird. Auch bei diesen elliptischen Gewölben sind die Lagerfugenflächen winkelrecht zur Laibungsfläche und senkrecht zur Stirnebene des Gewölbes anzuordnen.

In Fig. 252 u. 253 sind die Constructionen für Ellipsen gegeben, welche zweckmässig für das Zureissen derselben auf dem Reissboden (Gypsestrich, Bretterboden) in der Praxis Anwendung finden.

In Fig. 252 sei die Länge der halben großen Axe der Ellipse $md = a$, diejenige der halben kleinen Axe $mc = b$. A sei eine Holzleiste mit gerader Kante vp . Auf derselben ist $vp = a$ und $ph = b$ genau abgetragen und bezeichnet, so dass auch $vh = a - b$ ist.

Bewegt man diese Leiste in der Weise, dass der Punkt v sich dabei auf der lothrechten Linie V der kleinen Axe b und der Punkt h sich auf der wagrechten Linie H der großen Axe fortbewegt, so wird durch den Punkt p stets ein Ellipsenpunkt bestimmt. Sind solche Punkte p in größerer Zahl fest gelegt, so kann das Zeichnen der Ellipse leicht vorgenommen werden. Auf dem Zeichentische benutzt man statt der Holzleiste einen Papierstreifen mit gerader Seitenkante.

Dafs p mit den Coordinaten x, y ein Punkt der Ellipse ist, folgt unter Bezugnahme auf die Zeichnungen in Fig. 252 durch nachstehende Ueberlegung. Es ist $\frac{y}{b} = \sin \alpha$, also

$$\frac{y^2}{b^2} = \sin^2 \alpha. \quad 98.$$

Ferner ist

$$x = mh + hn. \quad 99.$$

Aus der Aehnlichkeit der beiden rechtwinkligen Dreiecke mhn und hnp ergibt sich

$$\frac{mh}{hn} = \frac{a-b}{b};$$

folglich ist auch

$$\frac{mh + hn}{hn} = \frac{a-b+b}{b} = \frac{a}{b} \quad \text{und} \quad mh + hn = a \frac{hn}{b};$$

d. i. unter Benutzung von Gleichung 99

$$x = a \frac{hn}{b},$$

und, da

$$\frac{hn}{b} = \cos \alpha$$

ist, auch

$$x = a \cdot \cos \alpha \quad \text{oder} \quad \frac{x}{a} = \cos \alpha$$

und

$$\frac{x^2}{a^2} = \cos^2 \alpha. \quad 100.$$

Werden die beiden Gleichungen 98 und 100 addirt, so ergibt sich

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1,$$

woraus

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2} (a^2 - x^2) \quad 101.$$

als bekannte Mittelpunkts Gleichung der Ellipse folgt.

In Fig. 253 ist die Ellipsen-Construction mit Hilfe der Brennpunkte F, F_1 unter Benutzung der Eigenschaft der Ellipse, dafs die Summe der von irgend einem Ellipsenpunkte p nach den Brennpunkten gezogenen Leitstrahlen $pF + pF_1$ gleich der Länge $2a$ der grofsen Axe ist, angegeben.

Man bestimme die Brennpunkte F und F_1 durch die Schnittpunkte der aus dem Punkte d oder e mit dem Halbmesser $dF = dF_1 = a$ beschriebenen Kreisbogen auf der grofsen Axe cg . Befestigt man in F und F_1 je einen eisernen Nagel (Drahtstift), knüpft man hieran die Enden einer Schnur, deren Länge $cg = 2a$ ist, legt man an die innere Seite der Schnur einen Bleistift und spannt man dieselbe hierdurch leicht an, so kann die Ellipse in einem fortlaufenden Zuge »aufgerissen« werden.

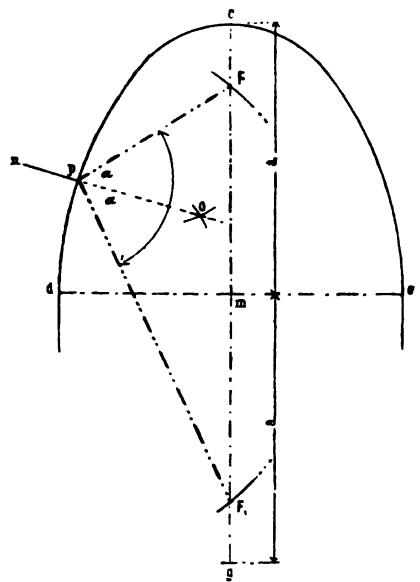
Die Normale pn für irgend einen Punkt p der Ellipse ist der Halbierungsstrahl no des von den Leitstrahlen gebildeten Winkels FpF_1 .

Ein ferneres, jedoch mehr auf dem Zeichenbrette angewendetes Verfahren zum Zeichnen einer Ellipse, welches wohl die Methode der »Vergatterung« genannt wird, ist in Fig. 254 gegeben.

Man theilt die halbe kleine Axe $mc = me = b$ proportional mit der Theilung der halben grofsen Axe $dm = a$ und giebt den Ordinaten, welche den einzelnen Theilpunkten entsprechen, die ihnen zukommenden Längen der Ordinaten eines um m mit dem Halbmesser b geschlagenen Viertelkreises.

Die proportionale Theilung von b und a erfolgt sehr einfach durch Benutzung der Strahlen dc und ce . Zieht man durch den beliebigen Punkt g die Linie gi parallel zu mc , so schneidet dieselbe den Strahl ce im Punkte h . Die Parallele zu de durch h geführt, schneidet den Strahl dc in h_1 , und die durch h_1 zu mc gezogene Parallele $i_1 h_1 g_1$ theilt in ihrem Fußpunkte g_1 die Länge $dm = a$ in demselben Verhältnisse, wie der Punkt g die Länge $mc = b$ getheilt hat.

Fig. 253.



hgf und cme zunächst $\frac{z}{v} = \frac{b}{a}$, demnach

$$z = v \frac{b}{a} \quad \dots \dots \dots 105.$$

Da auch $\triangle fgm \sim \triangle kem$ ist, so erhält man $\frac{v}{x} = \frac{b}{a}$,

woraus

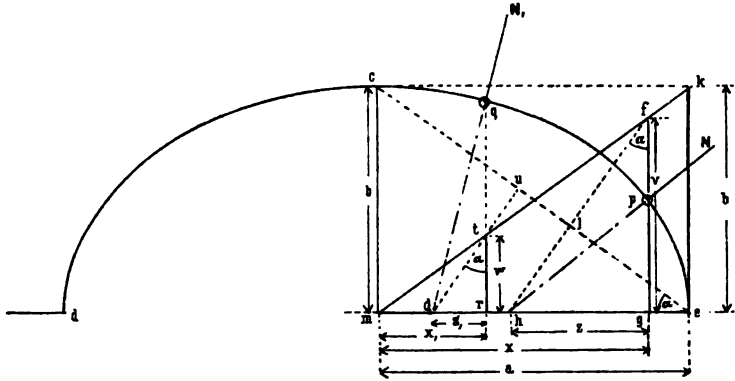
$$v = \frac{b}{a} x \quad \dots \dots \dots 106.$$

Setzt man diesen Werth für v in Gleichung 105, so wird

$$z = \frac{b^2}{a^2} x, \quad \dots \dots \dots 107.$$

entsprechend dem Ausdruck für die Subnormale des Ellipsenpunktes p .

Fig. 255.



Eben so ergibt sich für die Normale N_1 des Punktes q der Ellipse der Ausdruck

$$z_1 = \frac{b^2}{a^2} x_1.$$

Oft begnügt man sich bei praktischen Ausführungen beim Festlegen der Normalen in Ellipsenpunkten mit einem Näherungsverfahren. Man schneidet z. B. in Fig. 254 von p_1 nach rechts und links gleiche Stücke p_1q und p_1r von verhältnißmäßig geringer Länge ab, und betrachtet das Ellipsenstück qr als eine gerade Linie, auf welcher in ihrem Halbirungspunkte p_1 die Winkelrechte p_1s als Normale der Ellipse errichtet wird.

In manchen Fällen ist es vorthailhaft, bei den im Gewölbebau auftretenden elliptischen Tonnengewölben während der Ausführung des Gewölbes selbst ein noch einfacheres Festlegen der normal zur Ellipse gerichteten Gewölbefugen veranlassen zu können, als solches nach den im vorhergehenden Artikel gezeigten Verfahren möglich ist. Zu diesem Zwecke ersetzt man die Ellipse durch einzelne Kreisbogenstücke, welche mit Krümmungshalbmessern derart beschrieben und zusammengesetzt werden, daß eine Curve entsteht, welche der beabsichtigten Ellipse thunlichst nahe kommt. In Fig. 256 ist eine derartige Construction der Bogenlinie dce ausgeführt.

Um den Mittelpunkt m der Ellipse sind 3 concentrische Kreise beschrieben, deren Halbmesser mg gleich der halben kleinen Axe, me gleich der halben großen Axe und mh gleich der halben großen Axe plus der halben kleinen Axe zu nehmen sind.

Zur Bestimmung eines Ellipsenpunktes und der dazu gehörigen Normalen ist der beliebige Strahl mkh gezogen, welcher den Kreis g in i , den Kreis e in k und den Kreis h in l schneidet. Zieht man ip parallel zu mh und kp parallel zu mc , so schneiden sich diese beiden Linien im Punkte p , welcher bekanntlich ein Punkt der Ellipse mit den Halbaxen me und mc ist. Verbindet man l mit p , so ist lp die Normale für die Ellipse im Punkte p .

Auf der linken Seite von Fig. 256 sind für vier Haupttheile und in der Nähe der großen Axe für einen Zwischentheil der halben Ellipse die Normalen co , qr , st . . . gezeichnet. Die Schnittpunkte 5 , 4 , 3 . . . der Normalen co mit qr , sodann qr mit st . . . liefern die Krümmungsmittelpunkte der

zugehörigen Kreisbogen, und zwar 5 für den Kreisbogen cq , 4 für den Kreisbogen qs Der für die Ellipse mit den Halbaxen a und b maßgebende Krümmungshalbmesser ρ ist in den Endpunkten der großen Axe als

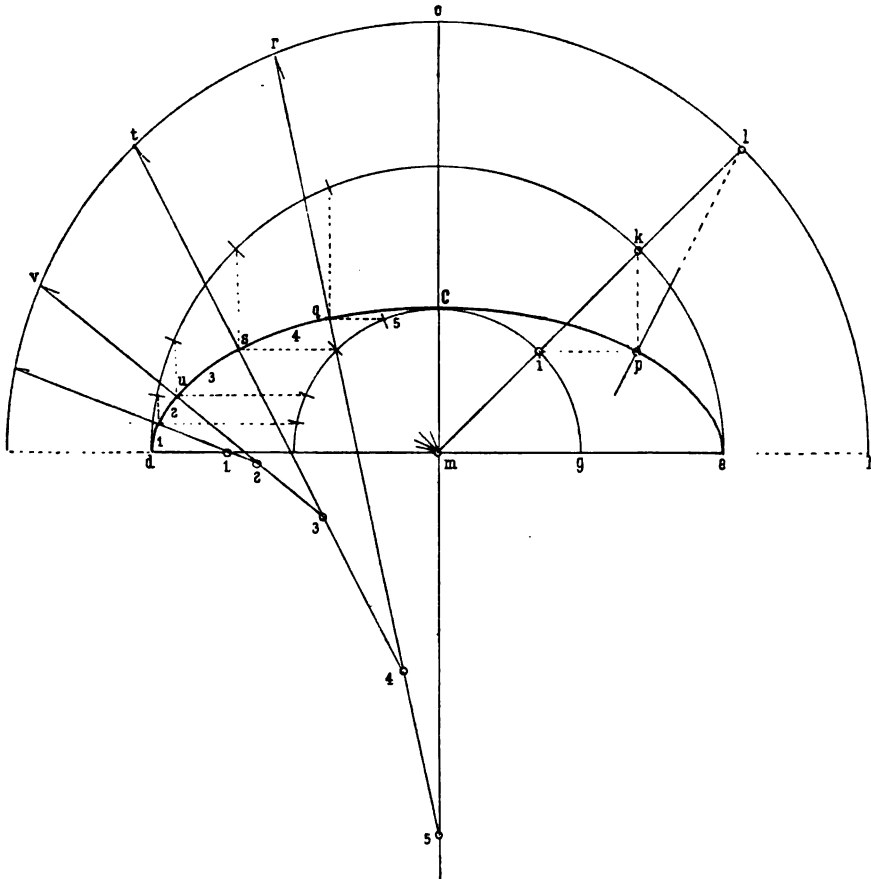
$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

und in den Endpunkten der kleinen Axe als

$$\rho = \frac{a^2}{b}$$

bekanntlich bestimmt, so daß nach Berechnung dieser Werthe die größten und kleinsten Krümmungshalbmesser von vornherein fest gesetzt werden können.

Fig. 256.



Die aus den verschiedenen Kreisbogenstücken zusammengefügte Bogenlinie dce , wobei in den Vereinigungspunkten c, q, s . . . für je 2 Kreisbogen eine gemeinschaftliche Tangente vorhanden ist, wird Korbbogenlinie oder kurz Korbbogen genannt. Sie wird beschrieben aus einer bestimmten, bei Korbbogen mit wagrechter Axe und wagrechter Scheiteltangente ungeraden Anzahl von Mittelpunkten, beispielsweise deren 9 in Fig. 256.

Wenngleich die Anzahl dieser Mittelpunkte nach dem soeben erklärten Verfahren beliebig groß genommen werden könnte, so ist doch für die praktische Ausführung solcher Korbbogen meistens nur eine geringe Zahl von Mittelpunkten erforderlich. In vielen Fällen, namentlich wenn bei gedrückten Bogen das Pfeilverhältniß nicht unter $\frac{1}{3}$ sinkt, werden nur 3 Krümmungsmittelpunkte benutzt.

Von den zahlreichen Angaben für die Construction von Korbbogen sollen hier nur einige, welche in der Praxis noch hier und dort Anwendung finden, berücksichtigt werden.

1) Korbbogen aus 3 Mittelpunkten. Es sei in Fig. 257 ab die gegebene Spannweite, cd die gewählte oder gegebene Pfeilhöhe eines zu zeichnenden gedrückten Korbbogens, und dabei sei die Bestimmung getroffen, daß der im Gewölbfuß a , bezw. b beginnende Kreisbogen mit vorgeschriebenem Halbmesser $a1 = b3$ geschlagen werde, dessen Größe jedoch, um für den Scheitelpogen nicht einen Halbmesser von unendlicher Größe zu erhalten, kleiner sein muß, als die Pfeilhöhe dc .

Man trage auf cd die Strecke $ce = a1$ ab, ziehe $e1$ und errichte im Halbierungspunkte m der Geraden $e1$ das gehörig verlängerte Loth f , welches die verlängerte Gerade cd im Punkte 2 schneidet. Alsdann ist 2 der Mittelpunkt des Scheitelpogens 2 . Die gemeinschaftlichen Vereinigungspunkte g und h der einzelnen Kreisbogen liegen auf den verlängerten Strahlen 21 , bezw. 23 .

Für einen überhöhten, aus 3 Mittelpunkten beschriebenen Korbbogen cah ist in Fig. 258 die nun ohne Weiteres verständliche Zeichnung gegeben.

Bei der in Fig. 259 veranschaulichten Darstellung eines gedrückten Korbbogens mit 3 Mittelpunkten ist aus der Seite ad (halbe Spannweite) und der Seite dc (Pfeilhöhe) das Rechteck $adch$ gezeichnet, hierauf die Diagonale ac desselben gezogen und danach die Halbierung der Winkel hac und hca vorgenommen. Die von a und c ausgehenden Halbierungsstrahlen treffen sich im Punkte e , welcher gemeinschaftlicher Punkt der hier zusammen tretenden Kreisbogen wird. Von e ist das Loth ef auf die Diagonale ac gefällt und gehörig erweitert, um in seinem Schnittpunkte 1 mit ad und im Schnitte 2 mit der verlängerten Geraden cd die gefuchten Mittelpunkte 1 und 2 für die Bogen 1 und 2 zu liefern.

Der Mittelpunkt 3 für den Bogen 3 liegt symmetrisch mit Punkt 1 . Dieselbe Construction gilt auch für den überhöhten Korbbogen.

2) Korbbogen aus 5 Mittelpunkten. Beim gedrückten Korbbogen in Fig. 260 ist ab die Spannweite und dc die Pfeilhöhe. Obgleich die Halbmesser für den Scheitelpogen und für den Anfaßbogen am Kämpfer von im Allgemeinen beliebiger, nur innerhalb gewisser Grenzen liegender Länge genommen werden können, so empfiehlt es sich doch aus statischen Gründen, wie aus Rücksichtnahme

Fig. 257.

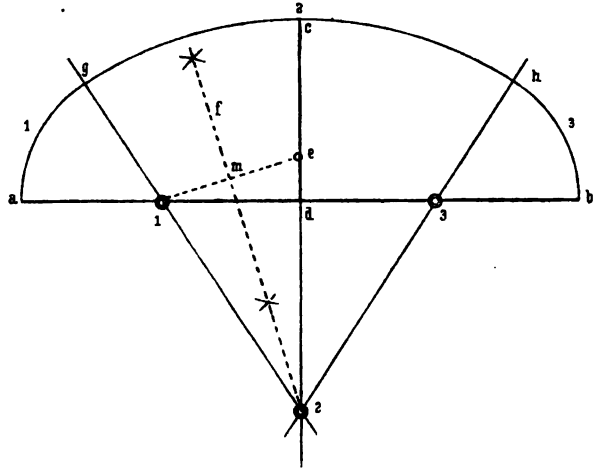


Fig. 258.

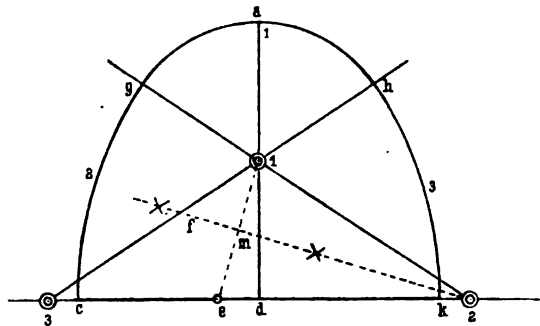
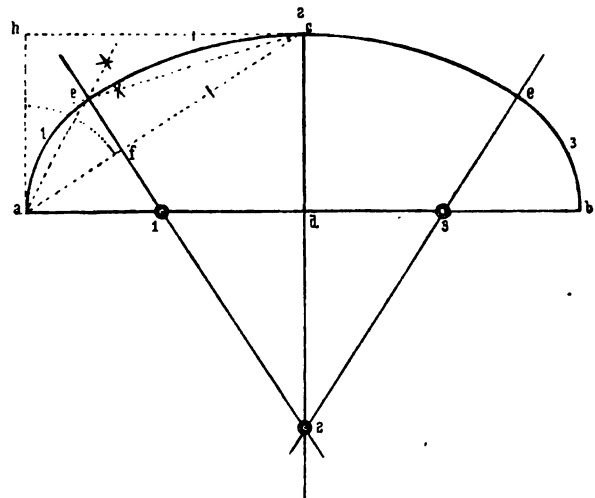


Fig. 259.



Man ziehe cq parallel zu ad , aq parallel zu cp und die Gerade ac . Zieht man nunmehr durch den beliebigen Punkt e der Geraden ad die Parallele eg zu dc , so schneidet dieselbe die Linie ac im Punkte h . Führt man durch h parallel zu ad die Gerade hi , welche die Gerade aq in i schneidet und verbindet man i mit c durch eine gerade Linie, so trifft dieselbe die Gerade eg in einem Punkte p , welcher ein Punkt der gesuchten Parabel ist.

Nimmt man pk parallel zu ad und $kc = cm$, so ist der Strahl mp nach bekannten Eigenschaften der Parabel Tangente in p , und das in p auf pm errichtete Loth ist die Normale für diesen Punkt.

Dafs p ein Punkt der Parabel ist, ergibt sich unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 261 in folgender Weise. Auf Grund der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke gpc und qic ist $\frac{y}{x} = \frac{(f-z)}{w}$, demnach

$$y = (f-z) \frac{x}{w} \quad . \quad 108.$$

Da ferner $\triangle eha \sim \triangle dca$ ist, so folgt $\frac{z}{w-x} = \frac{f}{w}$, mithin

$$z = \frac{f}{w} (w-x) \quad . \quad . \quad . \quad 109.$$

Führt man diesen Werth von z in Gleichung 108 ein, so erhält man den Ausdruck

$$y = \frac{f}{w^2} x^2, \quad . \quad . \quad . \quad 110.$$

welcher der Gleichung der Parabel entspricht, deren Axe mit der Coordinatenaxe cd zusammenfällt.

Steht wie in Fig. 262 dc schiefwinkelig auf ab im Halbirungspunkte d , so sind ab und cd conjugirte Durchmesser der Parabel und aus der hier als bekannt vorausgesetzten Uebereinstimmung der Form der Gleichung der Parabel, bezogen auf ein System conjugirter Axen mit der Scheiteltgleichung 110 derselben, folgt, dafs alle Eigenschaften der Parabel, welche vom Coordinatenwinkel unabhängig sind, auch bei dem neuen System mit conjugirten Axen Giltigkeit behalten.

Von Bogenlinien in der Form von Fig. 261 u. 262

Fig. 261.

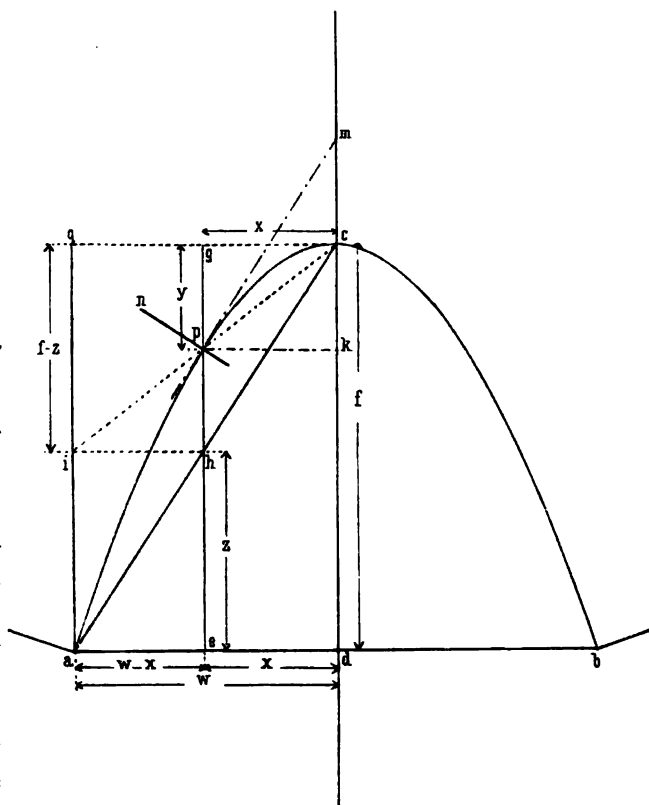
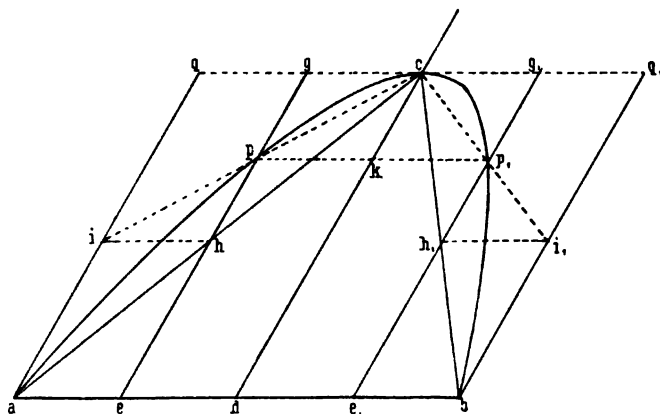


Fig. 262.



Stücken angehäuft, welches in keiner Weise einer guten Construction entspricht und deshalb als fehlerhaft bezeichnet wurde. Aber auch selbst bei größeren Stücken von Wölbmaterial ist die Fugenanordnung in der dargestellten Weise in der Nähe des Scheitels zu vermeiden, da zweckmäfsig, dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes (Drucklinie) im Spitzbogengewölbe entsprechend, in der Nähe des Scheitels sich mehr der lothrechten Richtung nähernde Gewölbefugen anzuordnen sind.

Aus diesem Grunde richtet man nach Fig. 266 die Wölbfschichten in der Nähe des Scheitels unter Aufgeben der normalen Stellung zur Bogenlinie nach symmetrisch liegenden veretzten Mittelpunkten. Läßt man bis zu einer Entfernung von 30 bis 40 cm auf beiden Seiten des Scheitels die normale Fugenrichtung für die Mittelpunkte 0, bezw. 11 eintreten, so ist nunmehr das höchste Bogenstück zwischen den normalen Grenzfugen 0...0 und 11...11 für kleineres Wölbmaterial, z. B. für Ziegel, in der Weise in Schichten zu theilen, dafs, der Dicke der Ziegel und der Stärke der Fugen zwischen dem Ziegelmauerwerk entsprechend, die Theilung auf der Rückenlinie des Gewölbgebogens mit Vermeidung der fog. Schlusfuge vor-

Fig. 265.

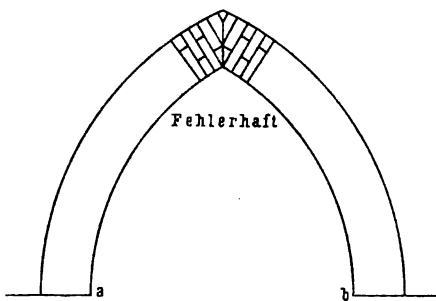
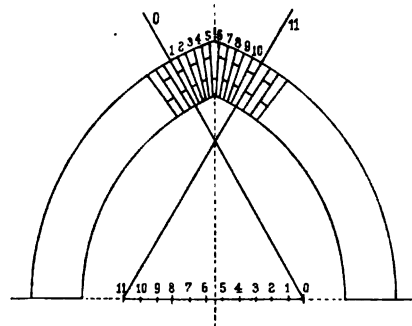


Fig. 266.

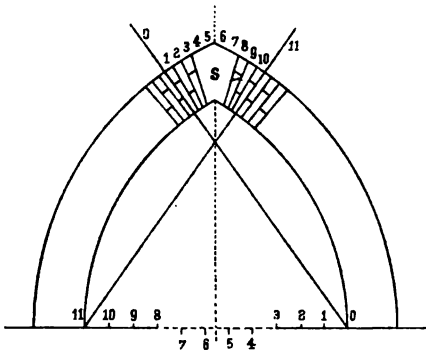


genommen wird. Die Theilung auf der inneren Bogenlinie vorzunehmen, ist nicht räthlich, weil alsdann in Folge der immerhin noch nothwendigen keilförmigen Gestalt der Wölbsteine bei der sonst üblichen Gewölbstärke in der Nähe des Rückens sehr starke Mörtelfugen erforderlich werden, während bei der empfohlenen Theilung, unter Beobachtung regelrechter Fugenstärken, die einzelnen Steine der Wölbfschichten nur ein mäßiges Verhauen erleiden oder in der Nähe der inneren Bogenlinie etwas schwächere Fugen als oben am Rücken erhalten.

Da die Theilung von der gedachten Scheitel-Lothrechten zu beiden Seiten symmetrisch liegt, also für den Schlusstein eine volle Steinschicht eingeführt werden muß, so hat man immer für die zu theilende Strecke zwischen den Grenzfugen eine ungerade Zahl von Wölbfschichten anzuordnen. Diese Zahl ist nun maßgebend für das Festlegen der Richtungslinien der einzelnen Fugen, indem die Verbindungslinie der Hauptmittelpunkte 0...11 in dieselbe Anzahl gleicher Theile zerlegt wird. In der Zeichnung sind 11 Theilpunkte angewandt, und nunmehr richtet sich Fuge 1 nach der Geraden 1...1, 2 nach der Linie 2...2 u. f. f.

Eine gleiche Anordnung des Fugenschnittes im Scheitel ist auch für Spitzbogen, welche aus Bruchstein- oder Quadermaterial hergerichtet werden sollen, zu empfehlen.

Fig. 267.

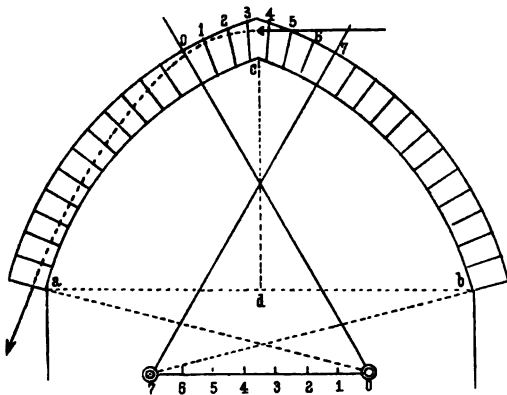


Zuweilen fügt man auch selbst dann, wenn Ziegelmateriale verwendet wird, unter theilweiser Beibehaltung der eben beschriebenen Fugenanordnung, nach Fig. 267 eine besonders aus grösseren Thonsteinen gebrannte oder aus Werkstücken (Quadern) bearbeitete Schlusssteinschicht *S* ein, was namentlich bei steileren Spitzbogen rathlich ist, da alsdann ein Verhauen der einzelnen, wenn auch wenigen Schichten in der unmittelbaren Nähe des Scheitels vermieden wird.

Bei steilen Spitzbogen kann die Grenzlage, bis zu welcher die normale Fugenrichtung beibehalten wird, schon mit einem Neigungswinkel von etwa 45 Grad zur Wagrechten *o...11* angenommen werden, während bei weniger steilen, fog. stumpfen Spitzbogen die schon oben angegebene höhere Grenzlage ohne Nachtheil für die Ausführung eingeführt werden kann.

Werden die Mittelpunkte *o* und *7* (Fig. 268) unter die wagrechte Verbindungsline *ab* der Kämpferpunkte gelegt, so entsteht der gedrückte Spitzbogen.

Fig. 268.



Wird dabei die Pfeilhöhe *cd* kleiner, als die halbe Spannweite *ad*, so erhält man den flachen Spitzbogen.

Die Anwendung des gedrückten Spitzbogens, dessen Fugenschnitt aus der Zeichnung ersichtlich ist, eignet sich aus statischen Gründen, weil im Allgemeinen ein günstiger Verlauf der Mittellinie des Druckes sich nachweisen läßt, meistens vortheilhaft zur Ausführung spitzbogiger Tonnengewölbe.

Eben so wie aus zwei Kreisbogen-schenkeln ein Spitzbogen gebildet werden kann, würde man auch aus zwei symmetrischen elliptischen Bogen oder aus zwei

symmetrischen Korbbogen einen Spitzbogen construiren und danach ein entsprechendes Tonnengewölbe herstellen können. In der Anwendung sind alsdann alle diejenigen Punkte wieder zu berücksichtigen, welche bereits bei den elliptischen und Korbbogen-Gewölben Erwähnung gefunden haben. Auf die elliptischen Spitzbogen-Gewölbe wird noch bei den »Tonnengewölben mit fog. Stichkappen« und bei den »Netzgewölben« hinzuweisen sein.

Werden gerade Tonnengewölbe in grösserer Länge zur Ueberdeckung eines Raumes in Anwendung gebracht, so erscheint die wagrechte Scheitellinie des Gewölbes dem Auge des Beschauers nicht mehr als eine wirkliche Wagrechte, sondern als eine nach unten schwach durchgebogene Linie. Diese optische Täuschung zieht natürlich das Ansehen des Gewölbes in unangenehme Mitleidenschaft. Um diesen Eindruck zu verwischen, läßt man bei derartigen längeren Tonnengewölben (Fig. 269) die Axen von den Stirnmauern bis zur Mitte des Raumes schwach geneigt an-

129.
Tonnengewölbe
mit Stich.

steigen, oder wie gesagt wird, man läßt das Gewölbe »mit Stich« verfehen. Die Scheitellinie und die Kämpferlinien erhalten dann als Parallele zur Gewölbaxe denselben Stich.

In folchem Falle bilden die beiden cylindrischen Cewölbkörper *A* und *B*, da ihre Axen nicht mehr rechtwinkelig zu ihren Stirnebenen stehen, schiefe cylindrische Körper, welche in einer sog. »Naht« oder in einem »Grat« *mb* zusammentreffen, sonst aber überall den gleichen lothrechten Querschnitt besitzen.

Das schräge Ansteigen *ab*, bzw. *cb* der Kämpferlinien kann beim Vorhandensein wagrecht geführter Kämpfergesimse jedoch von nachtheiliger Wirkung werden; um dieses zu vermeiden, ordnet man das Gewölbe nach Fig. 270 bei wag-

Fig. 269.

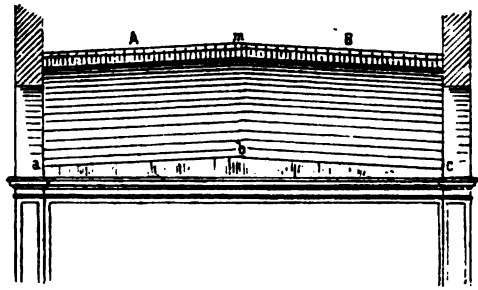
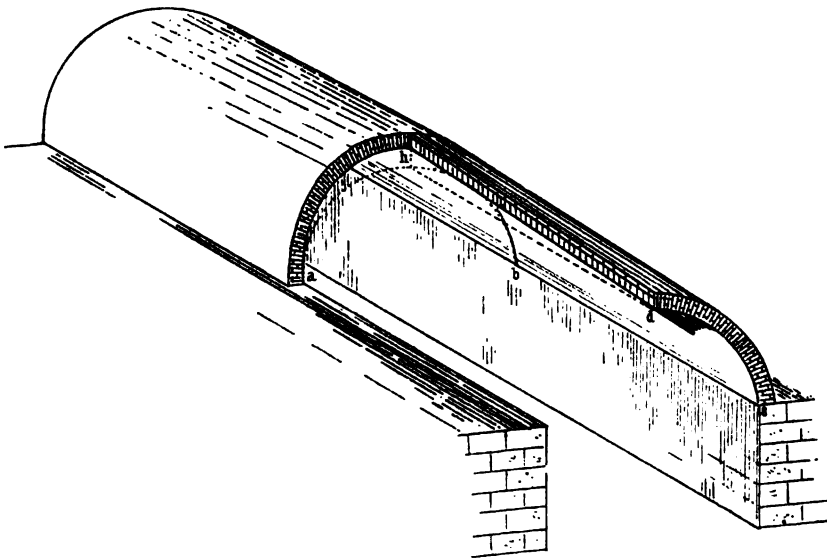


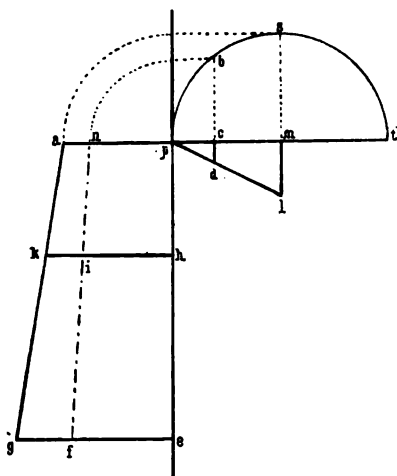
Fig. 270.



rechten Kämpferlinien so an, daß die Scheitellinie bis zur mittleren Bogenlinie, welche eine andere Form *ahb* als die Bogenlinie der Stirn erhält, in entsprechender Weise ansteigt. Die Folge hiervon ist, daß die sämtlichen lothrechten Schnitte, parallel zur Stirnebene gelegt, verschiedene Bogenlinien aufweisen müssen. In der praktischen Ausführung solcher Gewölbe wird aber auf dem den Körper des Gewölbes tragenden Gerüste, wovon später erst die Rede sein kann, ohne von vornherein die Wöblinien zu ändern, vermöge des nur geringen Stiches, an den nothwendigen Gerüststellen eine schwache Auffütterung von Holzstücken vorgenommen, welche in ihrer Höhe der Stichhöhe in den zugehörigen Punkten entsprechen.

Um die Höhen der Auffütterungen an verschiedenen Stellen zu bestimmen, kann man nach Anleitung von Fig. 271 verfahren.

Fig. 271.



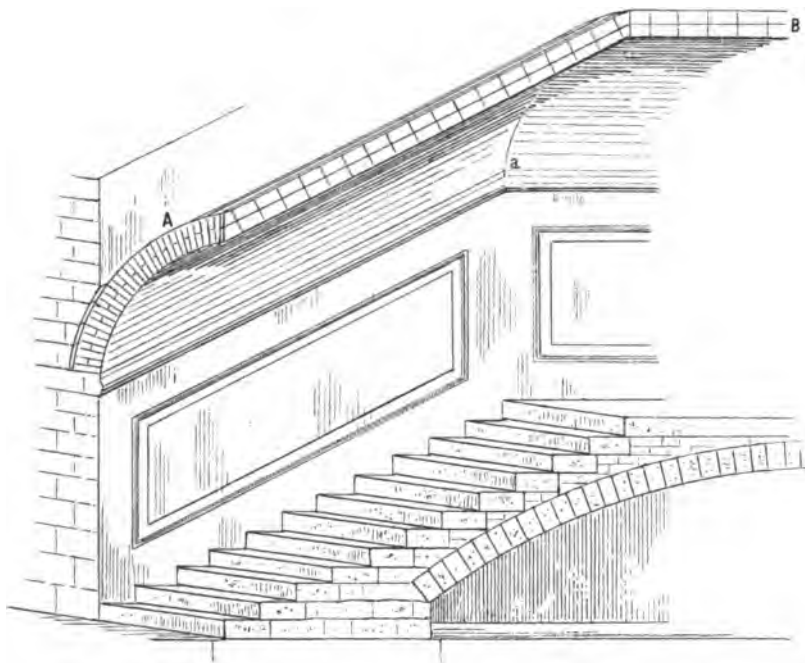
Es sei pe die wagrechte Länge der Gewölbhälfte, der um m mit dem Halbmesser mp beschriebene Halbkreis pst der Stirnbogen und ml die Höhe des Stiches der Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat des Gewölbes. Lothrechte Ebenen bc , welche rechtwinkelig zur Stirnebene geführt werden, sollen die Laibungsfläche des Gewölbes in geraden ansteigenden Linien schneiden, deren Stichhöhe cd am Grat sich zur Stichhöhe ml der Scheitellinie verhält, wie sich der Abstand pc der gewählten lothrechten Ebene zum Halbmesser pm des Stirnbogens verhält.

Nimmt man daher $pn = cb$ und $ef = db$, so ist nf die gesuchte ansteigende Linie für den lothrechten Schnitt bc und $ef - bc = cd$ die Auffütterung für den Punkt f . Für den beliebig in h parallel zur Stirnebene genommenen lothrechten Schnitt hk ist im Punkte i die Auffütterung gleich dem Unterschiede zwischen hi und cb , während für den Punkt k die Höhe dieser Auffütterung offenbar gleich dem Unterschiede zwischen hk und ms ist, weil ag der ansteigenden Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat entspricht, für welche $eg = ls$ und $pa = ms$ maßgebend war.

Was hier für den Halbkreis als Stirnbogen gefagt ist, gilt auch für irgend eine andere Form des zu Grunde gelegten Stirnbogens.

Liegen die gerade Gewölbaxe und die ihr parallelen Kämpferlinien eines Tonnengewölbes in einer schiefen Ebene, wobei jedoch zwei einander zugehörige Kämpferpunkte einer wagrechten Geraden angehören, so wird dasselbe ein gerades steigendes Tonnengewölbe genannt. Fig. 272 veranschaulicht dasselbe an dem

Fig. 272.



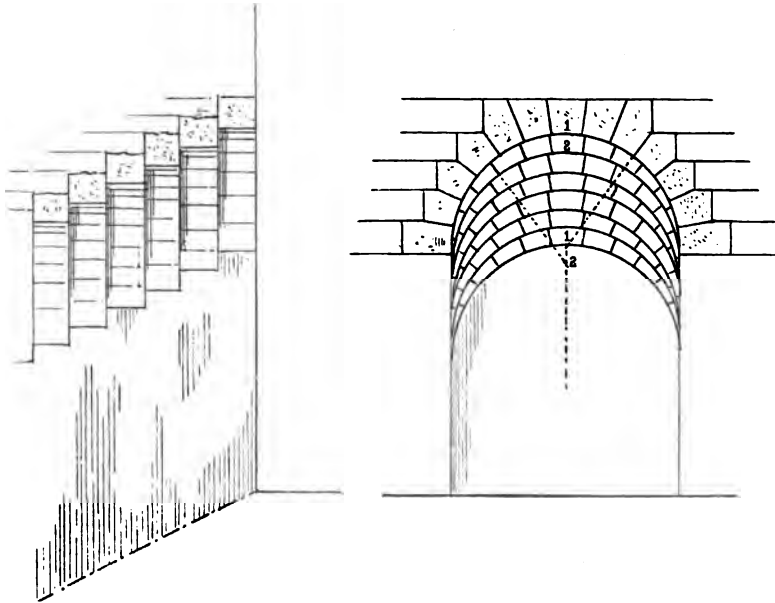
130.
Steigendes
Tonnen-
gewölbe.

im Durchschnitte genommenen Gewölbkörper \mathcal{A} . Tritt dasselbe mit einem wagrechten geraden Tonnengewölbe \mathcal{B} zusammen, so entsteht in der Schnittlinie wiederum

ein Grat *a*. Derartige Tonnengewölbe finden in der Regel nur bei Treppenanlagen Verwendung und sind auch hierfür schon in früher Zeit in großartiger Weise zur Ausführung gelangt.

Wenngleich der praktischen Herrichtung dieser Gewölbe besondere Schwierigkeiten nicht entgegenstehen, so wurden doch namentlich im Mittelalter derartige steigende Gewölbe aus einzelnen, neben einander stehenden, kürzeren Gewölben, sog. »Gurten« oder »Zonen«, deren Kämpfer einer staffelartigen Anordnung folgen, zusammengefügt. Diese Constructionsweise, welche in Fig. 273 in Ansicht und

Fig. 273.



Längenschnitt dargestellt ist, eignet sich besonders für Quader als Wölbmaterial. Auch bei den in dieser Weise auszubildenden Gewölben ist bei der Wahl der Bogenlinie die größte Freiheit vorhanden.

131.
Schrauben-
förmig
steigendes
Tonnen-
gewölbe;
Schnecken-
gewölbe.

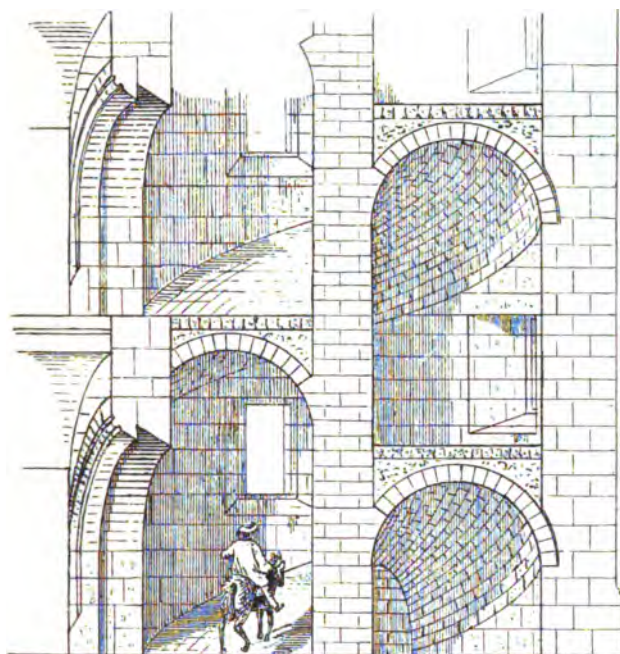
Sind die Axe und die Kämpferlinien eines Gewölbes Schraubenlinien, bei deren Festlegen die beiden zusammengehörigen Kämpferpunkte der Bogenlinie, welche die Laibungsfläche desselben erzeugt, die Endpunkte einer geraden wagrechten Linie bilden, so nennt man dasselbe ein schraubenförmig steigendes Tonnengewölbe oder ein Schneckengewölbe (Fig. 274). Derartige Gewölbeanlagen können über massiven Wendeltreppen, Reitrampen im Inneren eines Bauwerkes und in sonst geeigneten Fällen Platz greifen. Kommt bei denselben Werkstein als Wölbmaterial zur Benutzung, so ist ein besonderer Steinfugenschnitt, wovon später (unter c) die Rede sein wird und welcher in Fig. 274 angedeutet ist, in Anwendung zu bringen. Treten mit den Schneckengewölben Podestgewölbe *abcd* zusammen, deren Kämpferlinien *ad* und *bc* einer wagrechten Ebene angehören, so bilden die Schnittlinien über *ab*, bzw. *cd* Grate, welche jedoch genau der erzeugenden Bogenlinie entsprechen.

132.
Ringgewölbe.

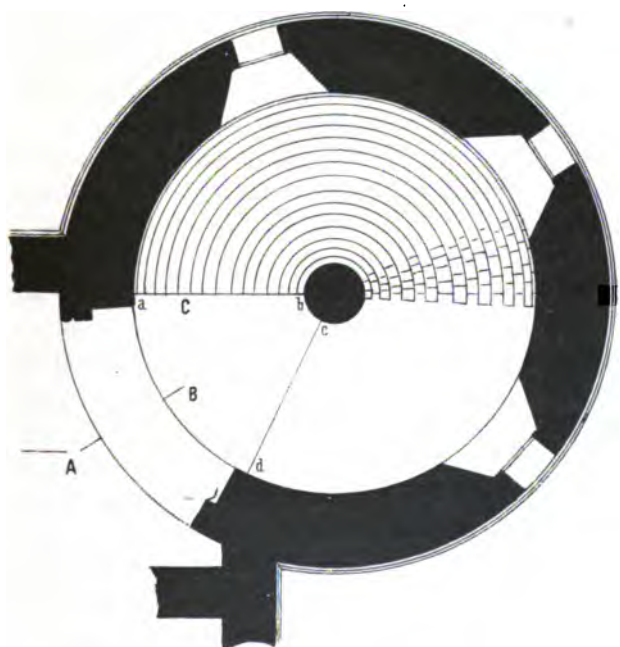
Ist die Axe eines Gewölbes eine in einer wagrechten Ebene liegende, gesetzmäßig gebildete Curve und sind die in derselben Ebene liegenden Kämpferlinien

der Axe derartig entsprechend genommene Curven, daß in der winkelrecht zur Axe gestellten lothrechten Ebene der erzeugenden Bogenlinie zwei zusammengehörige Kämpferpunkte in jeder Stellung dieser Ebene immer denselben ursprünglichen Abstand von der Axe behalten, so entsteht die Laibung eines Ringgewölbes oder des ringförmigen Tonnengewölbes (Fig. 275). Am häufigsten wird die Gewölbaxe kreisförmig oder elliptisch (nur als Halbkreis, bezw. als halbe Ellipse oder vollständig geschlossen) zur Anwendung gebracht.

Fig. 274.



Schnitt A D.

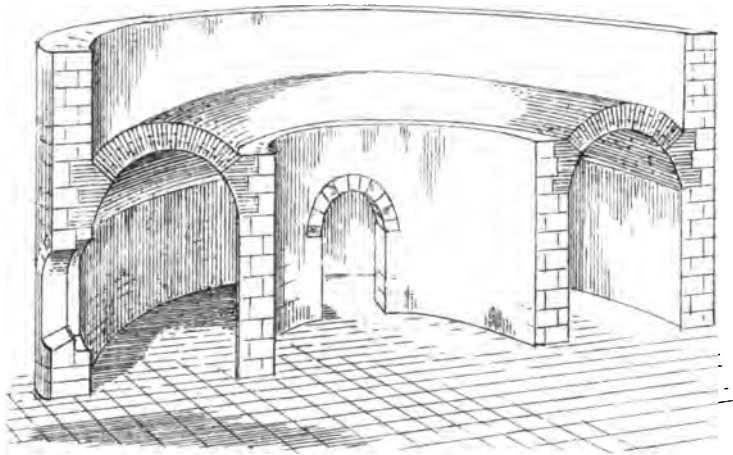


Bei Bruchstein- und Backsteinmaterial entstehen bei der Herstellung solcher Ringgewölbe verhältnismäßig keine größeren Schwierigkeiten; bei Anwendung von Hausteinmaterial sind die einzelnen Wölbsteine nach einem leicht zu ermittelnden Fugenschnitte zu bearbeiten. Tritt an die Stelle der krummlinigen Gewölbaxe eine gebrochene gerade Linie, d. h. ein Polygonalzug, so entsteht eine Nebenart des Ringgewölbes, welche mit dem Namen polygonales Tonnengewölbe bezeichnet wird. Hierbei treten die Tonnengewölbe der einzelnen Seiten des Polygons über den Ecken der Axe in einem gemeinschaftlichen Grat zusammen.

Schneiden die Gewölflächen kleinerer Tonnengewölbe das eigentliche Hauptgewölbe, so nennt man die ersteren Stichkappen oder Lunetten und das ganze

133.
Tonnengewölbe mit
Stichkappen.

Fig. 275.



gestattet, hat darauf geführt, an den Widerlagsmauern gleichsam noch weitere Durchbrechungen des Tonnengewölbes eintreten zu lassen, um hierdurch nicht allein durch schlankere und mit guten Verhältnissen versehene Oeffnungen eine bessere Beleuchtung und Zugänglichkeit des überwölbten Raumes zu erzielen, als solches durch Oeffnungen in den Stirnmauern allein möglich wird, sondern auch den Eindruck der Schwere und des Ernstes, welchen ein Tonnengewölbe an und für sich macht, mehr und mehr zu mildern. Tonnengewölbe mit Stichkappen sind, in wirklicher Pracht und großem Reichthum ausgestattet, bei den hervorragenden Bauwerken italienischer Renaissance zur Ausführung gekommen und können sich nach wie vor einer großen Beliebtheit erfreuen. Die Stichkappen selbst haben, als kleine Tonnengewölbe genommen, eine wagrechte, eine schräg aufsteigende oder abfallende oder auch eine gebrochene gerade Linie, seltener eine krumme Linie zur Axe. Ihre Bogenlinie entspricht den Bogenlinien des Tonnengewölbes überhaupt.

Unter c wird bei der Besprechung der Ausführung der Stichkappen noch die genaue Ausmittelung und das Einfügen derselben in das zugehörige Hauptgewölbe beschrieben werden. Hier möge nur einstweilen der Einfluss der Stichkappen auf die Gesamtbildung des Tonnengewölbes mit Stichkappen gekennzeichnet werden.

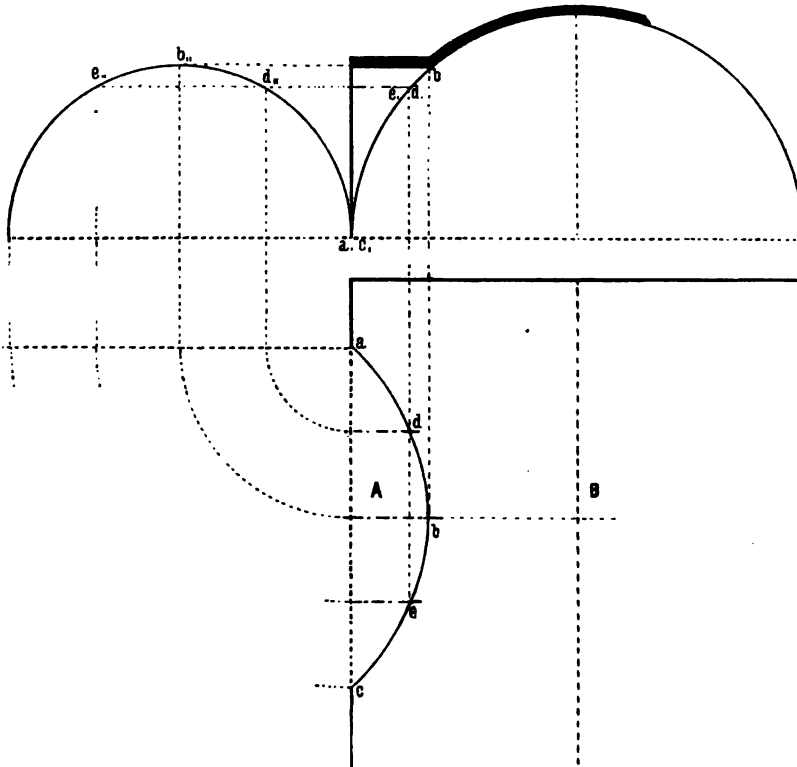
In Fig. 276 ist im Grundriss *A* die Laibungsfläche der Stichkappe mit halbkreisförmiger Bogenlinie und *B* die Laibungsfläche des Hauptgewölbes, dessen erzeugende Bogenlinie gleichfalls ein Halbkreis ist. Beide Gewölbe haben dieselbe wagrechte Ebene als Kämpferebene und gerade Gewölbaxen, welche sich rechtwinkelig treffen. Die Laibungsflächen *A* und *B* schneiden sich, wie aus Fig. 276 ersichtlich ist, in einer leicht zu bestimmenden Durchdringungslinie *abc*, welche hier, wie auch im Allgemeinen meistens bei der Wahl einer bestimmten Bogenlinie für die Stichkappe der Fall ist, nicht allein an und für sich, sondern im Besonderen in der wagrechten Projection als Curve auftritt. In gleicher Weise würde auch die Durchdringungslinie für die Rückenflächen der beiden Gewölbe zu ermitteln sein. Die Fläche zwischen diesen beiden Durchdringungslinien trennt die Stichkappe vom Hauptgewölbe, und dieselbe kann als Laibungsfläche eines besonderen, mit bestimmter Stärke behafteten Gewölbes auftreten, welches sich, mit regelrechtem Fugenschnitte versehen, an das Hauptgewölbe schmiegend und in dasselbe legend, als Stütze für

die antretenden Wölbsteine desselben dienen, gleichzeitig aber für das in das Hauptgewölbe gesteckte kleinere Stichkappen-Gewölbe den Anschluß und die weitere Stütze gewähren muß.

Hierin ist der Grundsatz für die Construction der Stichkappen ausgesprochen.

So gut nun die wagrechte Projection der Durchdringungslinien, sei die innere oder äußere Wölbfläche dabei in Betracht genommen, neben der Bogenlinie des Hauptgewölbes von der Bogenlinie der Stichkappe abhängig gemacht wird, eben so gut kann auch umgekehrt diese Bogenlinie bei gegebenem Hauptgewölbe von einer bestimmten, vorweg vorgeschriebenen wagrechten Projection der Durchdringungslinie abhängig gemacht und unter Berücksichtigung der sonst als unveränderlich fest

Fig. 276.



liegenden Bestimmungsstücke des übrigen Gewölbkörpers ermittelt werden. Und gerade unter Benutzung dieser Freiheit ist eine fernere Grundlage für die weitere Entwicklung des Tonnengewölbes erworben, welche sich bei der Anordnung der sog. Netzgewölbe, die später einer besonderen Betrachtung unterzogen werden müssen, in gewissem Grade Geltung verschafft.

In Fig. 277 ist *A* die wagrechte Projection der Laibungsfläche der Stichkappe und *B* diejenige der halbkreisförmigen Laibungsfläche des Hauptgewölbes. Beide Gewölbe besitzen dieselbe wagrechte Kämpfer-ebene. Die Weite der Stichkappe sei *ac*.

Die wagrechte Projection der Durchdringungslinie soll die gebrochene gerade Linie *abc* sein, deren Stücke Seiten eines gleichschenkeligen Dreieckes mit der Grundlinie *ac* bilden. Die hiernach zu findende Bogenlinie *ahc* der Stichkappe ist aus Bogenstücken zusammengesetzt, welche im vorliegenden Falle Ellipsen angehören und, wie aus Fig. 277 hervorgeht, in leicht ersichtlicher Weise gefunden werden

können. So ist z. B. $fh = ik$ und $gr = ut = mn$. Man erhält also für das in das Hauptgewölbe gesteckte Gewölbe einen »elliptischen Spitzbogen« als erzeugende Bogenlinie.

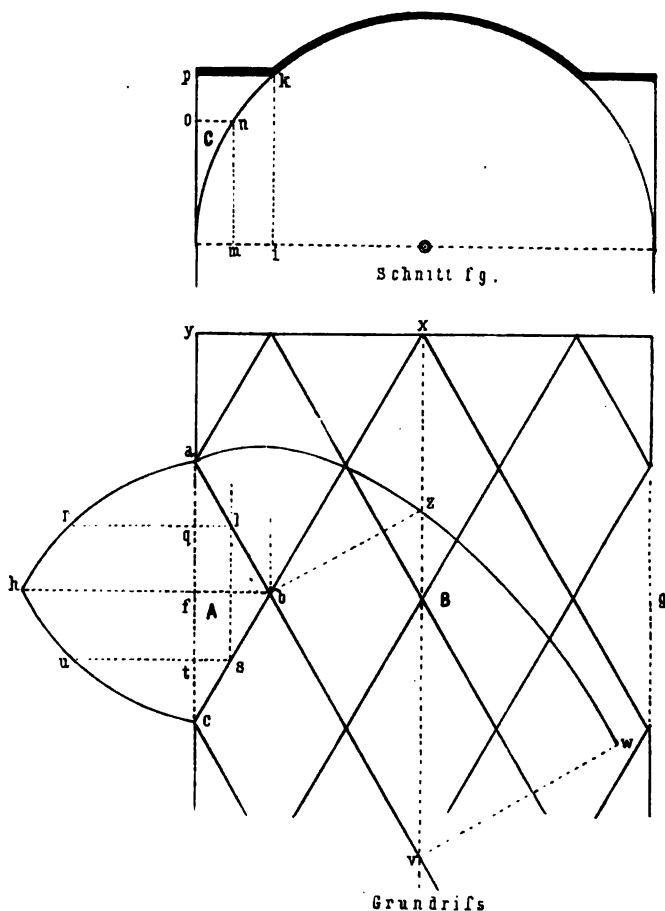
In der lothrechten Ebene ab erscheint die Durchdringungslinie als Theil az einer Ellipse, welche im Viertel als asw dargestellt und deren halbe große Axe av , deren halbe kleine Axe vw gleich dem Halbmesser xy der Bogenlinie des Hauptgewölbes ist. Im Schnitt fg ist C die lothrechte Projection der Stichkappenfläche.

Werden an den Widerlagern des Hauptgewölbes die Einfügungen der Stichkappen in bestimmten, regelmäßigen Abständen wiederholt, so entspringt eine mannigfaltige Gliederung des Hauptgewölbes und gleichzeitig eine sachgemäße Auflösung der Massen der Widerlagsmauern in einzelne, wenn auch kräftige, doch im Allgemeinen günstig in die Erscheinung tretende Pfeiler.

Läßt man die vorhin schon erwähnten besonderen Anschlußgewölbe der Stichkappen an den Durchdringungslinien selbständig an der inneren Laibungsfläche des Hauptgewölbes vortreten und durch das ganze Gewölbe ziehend erweitern; ordnet man, da diese vorspringenden Theile, wie gezeigt, elliptischen Bogen entsprechen, mehrere solcher elliptischer Gewölbbogen, »Rippen« genannt, in planmäßiger und decorativer Weise für das ganze System an, so wird die Gewölbfäche in Muster zerlegt und mit einem Netz von Rippen versehen. Durch diese Anordnung ist der Vorläufer für das eigentliche »Netzgewölbe« erzeugt. Treten hier die Rippen nur als ein Schmuck der Tonnengewölbe auf, so werden dieselben bei den Netzgewölben des Mittelalters als eigentliche Träger der Füllgewölbe der einzelnen Felder oder Maschen des Netzes in Anspruch genommen und bieten damit ein Mittel für eine reiche und reizvolle Durchbildung gewölbter Decken nicht allein bei regelmäßig, sondern auch, da die Netzbildung weit gehende Freiheiten gestattet, bei unregelmäßig im Grundriß auftretenden Räumen.

Ist die Gewölbaxe gh eines Tonnengewölbes (Fig. 278) nicht rechtwinkelig zur Stirnebene ab , bzw. cd eines Gewölbes gerichtet, so entsteht ein schiefes Gewölbe. Als Maß der Schiefe gilt die Größe des Winkels δ , um welchen die Richtung der Gewölbaxe von dem Lothe ik zur Stirnebene abweicht. Wenngleich die schiefen Gewölbe im Hochbauwesen thunlichst vermieden werden, so können

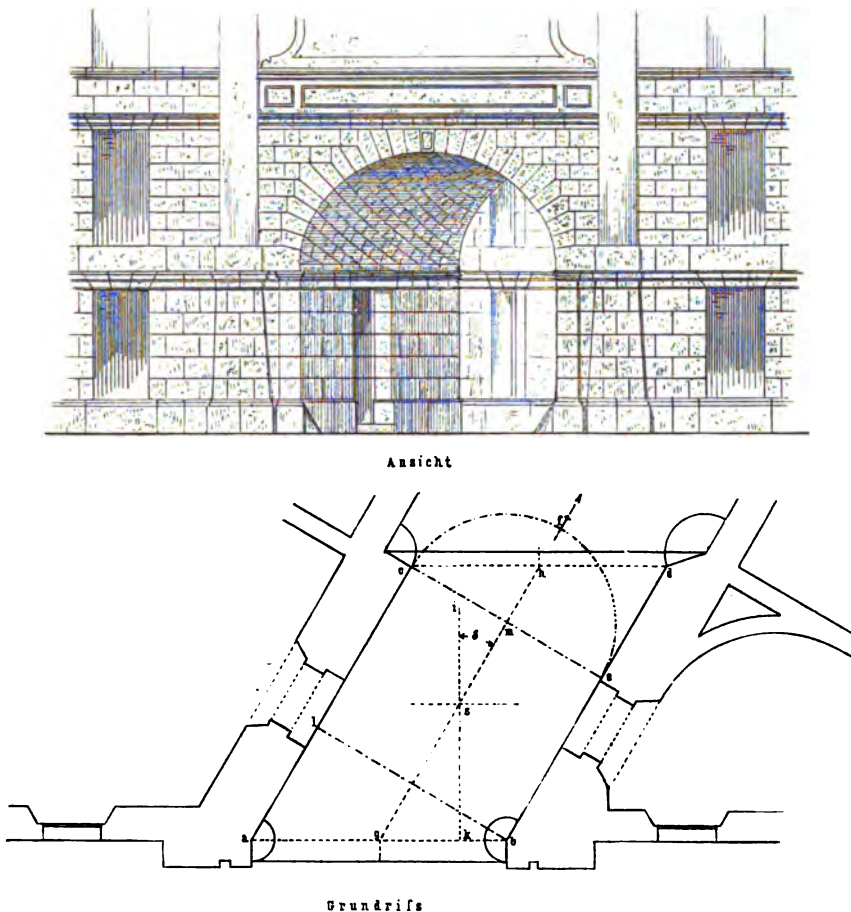
Fig. 277.



doch Fälle eintreten, wie z. B. bei Durchfahrten u. f. w., welche die Ausführung schiefer Gewölbe unter Umständen erforderlich machen.

Von größter Bedeutung für die Durchbildung der schiefer Gewölbe ist die zweckmäßige Anordnung der Lager- und Stosfugenflächen derselben. Würden die Lagerfugenflächen als Ebenen behandelt, deren Kanten gerade Linien, parallel zu den Widerlagslinien *ac*, bzw. *bd* geführt, sein sollten, so würden, wenn diese Ebenen — möchten dieselben auch senkrecht auf der cylindrischen Laibungsfläche stehen, deren Erzeugende der Normalschnitt *cfe* des schiefer Gewölbes ist — bis an die Stirnen des Gewölbes durchtreten, die aus den einzelnen Wölbsteinen gebildeten

Fig. 278.



Gewölbstücke über den dreieckigen Grundflächen *abl* und *dec* bei *b* und *c*, wo dieselben in einer Linie endigen, kein Widerlager besitzen, also, wenn nicht besondere gekünstelte Anordnungen und Verankerungen dieser Gewölbstücke eingeführt würden, nicht standfähig sein. Würden bei einer derartigen Wahl der Lagerfugenflächen die Stosfugenflächen in Ebenen liegend genommen, welche rechtwinkelig zu den Lagerflächen stehen, so würden auch an den Stirnen die Wölbsteine eine mangelhafte Stützfläche erhalten, während, wenn die Stosflächen in Ebenen genommen werden, welche parallel zur Stirnebene stehen, der letzte Uebelstand wohl gehoben, aber der Mangel des Widerlagers in den Punkten *b* und *c* nicht beseitigt würde.

Zur Vermeidung dieser Mifsstände ist von der gewöhnlichen Anordnung des beim geraden Tonnengewölbe auszuübenden Fugenschnittes, wonach sowohl die Lagerflächen als auch die Stofsflächen in Ebenen liegen, welche je für sich rechtwinkelig zur Laibungsfläche des Gewölbes stehen, bei den schiefen Tonnengewölben abzuweichen, und hierfür der fog. schiefe Fugenschnitt in Anwendung zu bringen. Als Regel für diesen schiefen Fugenschnitt gilt meist die Bestimmung, dafs:

- 1) die Lagerfugenkanten auf der Laibungsfläche des Gewölbes sowohl rechtwinkelig zur Stirn, als auch rechtwinkelig zu jedem fernerer parallel zur Stirnebene genommenen Stirnschnitte stehen;
- 2) die Stofs-fugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten gerichtet, also parallel zur Stirnlinie sind;
- 3) die Erzeugenden der Lagerfugenflächen senkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes stehen, und auch
- 4) die Erzeugenden der Stofs-fugenflächen senkrecht zur Gewölbfäche gerichtet sind.

Die strenge Befolgung dieser Regel liefert den fog. »französischen oder orthogonalen Fugenschnitt«, während ein Näherungsverfahren bei der Anordnung der Lagerfugen- und Stofs-fugenkanten zu dem in vielen praktischen Fällen brauchbaren und weit einfacher zu handhabenden fog. »englischen Fugenschnitt« führt.

Der »französische Fugenschnitt« gestaltet sich mit Bezugnahme auf Fig. 279 in der folgenden Weise.

Der Normalschnitt der im Grundrifs als $abcd$ gegebenen Laibungsfläche eines schiefen Gewölbes ist als Halbkreis afe angenommen und hiernach die Abwicklung der cylindrischen Gewölbfäche ab_1d_1c bestimmt. Für den beliebigen Punkt p der abgewickelten Stirnlinie ab_1 ist $as = x$ gleich der Bogenlänge ag und $sp = y = ih$. Ist der Punkt p , entsprechend dem Punkte h , der Ausgangspunkt einer Lagerkante an der Stirn des Gewölbes, so mufs die Lagerkante pt in der Abwicklung der Laibungsfläche in jedem ihrer Elemente rechtwinkelig zu dem ihr zugehörigen Elemente eines Stirnschnittes (z. B. CD_1 , hervorgerufen durch eine parallel zum Haupte des Gewölbes geführte lothrechte Ebene CD) stehen, ist also eine krumme Linie, welche ein System von gleichartigen krummen Linien (die Stirnschnittlinien) unter demselben Winkel, hier unter einem rechten Winkel schneidet, d. h. eine Orthogonal-Trajectorie. Wird eine solche Trajectorie für den Scheitelpunkt l als die Curve lv bestimmt, so erhält man die für die Anordnung des französischen Fugenschnittes wichtige »Scheiteltrajectorie« des schiefen Gewölbes.

Um dieselbe durch Rechnung fest zu legen, kann man ihre im Folgenden entwickelte Gleichung benutzen.

Bezeichnet r den Halbmesser des für den Normalschnitt ae gewählten Kreisbogens (hier ein Halbkreis), β das Bogenmafs für den Halbmesser 1 und α den Winkel der Schiefe, so ist, bei Annahme des rechtwinkligen Coordinaten-Systemes XY mit dem Anfangspunkte a , für einen beliebigen Punkt p (x, y) der »abgewickelten Stirnlinie« ab_1 , die Abscisse as gleich der Bogenlänge ag , d. h.

$$x = r\beta, \quad \dots \dots \dots 111.$$

oder, wenn der zugehörige Centriwinkel amg des Bogens ag eine Gröfse von β Graden besitzt, sofort

$$x = r \frac{\pi}{180^\circ} \beta^\circ \quad \dots \dots \dots 112.$$

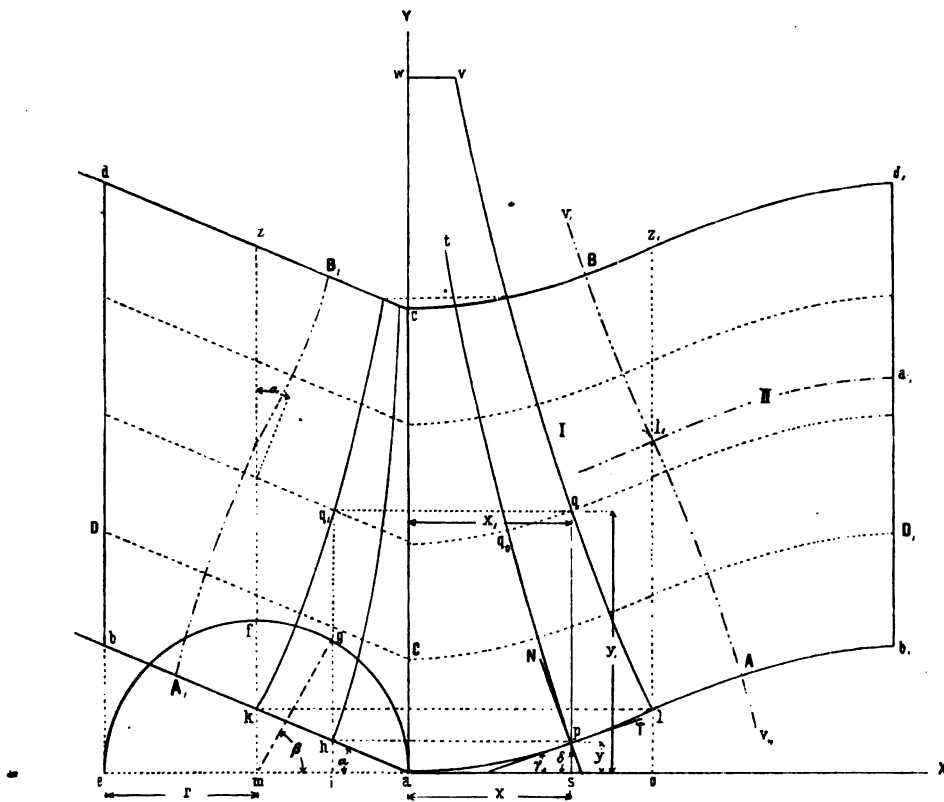
ist, durch

bestimmt.

der Trajektorie

[illegible]

Fig. 279.



vorhandenen Tangente pT stehen soll, $\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} (90 - \delta) = \operatorname{cotg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$ oder

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}; \quad 115.$$

mithin unter Benutzung von Gleichung 114

$$dy_1 = - \frac{dx_1}{\operatorname{tg} \gamma},$$

oder, da für den Punkt p auch $x_1 = x$, also $dx_1 = dx$ ist, auch

$$dy_1 = -\frac{dx}{\operatorname{tg} \gamma} \quad \dots \quad \text{II 6.}$$

bein
Lag
win'
abz
Als

win
gei

po

G

r

l
l

Ist in einem gegebenen einzelnen Falle die Scheiteltrajectorie lv in Verbindung mit der halben abgewickelten Stirnlinie al und der Widerlagslinie aY durch Zeichnung fest gelegt, so kann das Flächenstück $alvw$ ohne Weiteres als Lehre (Schablone) zur Bestimmung der sämtlichen Lager- und Stofsfugenkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche ab_1d_1c benutzt werden. Hierbei ist nur das Folgende zu berücksichtigen.

Die Scheitellinie ls_1 scheidet die abgewickelte Fläche ab_1c_1d in die beiden Theile I und II . Für die Lager- und Stofskanten des Theiles I gleitet die Lehre mit ihrer Seite aw stets an der Widerlagslinie ac fort, während für jene Kanten des Theiles II die Lehre an der mit ac parallelen Linie b_1d_1 fortzubewegen ist.

Ist z. B. p ein Theilpunkt der Gewölbstirn (Fugenpunkt) des Theiles I , so führt man die Lehre mit ihrer Seite aw so lange an ac entlang, bis die Curve lv mit einem Elemente durch den Punkt p läuft, und zeichnet alsdann das auf die Fläche I von lv fallende Curvenstück pt als Lagerkante vor. Die Stofsfugenkanten sind am Stirnbogenstücke al vorzuzeichnen. Würde etwa der Punkt q der Ausgangspunkt einer solchen Kante sein, so verschiebt man die Lehre an ac so lange, bis ein Element der Stirnlinie al durch q läuft, und zeichnet qq_0 als Stofskante ein.

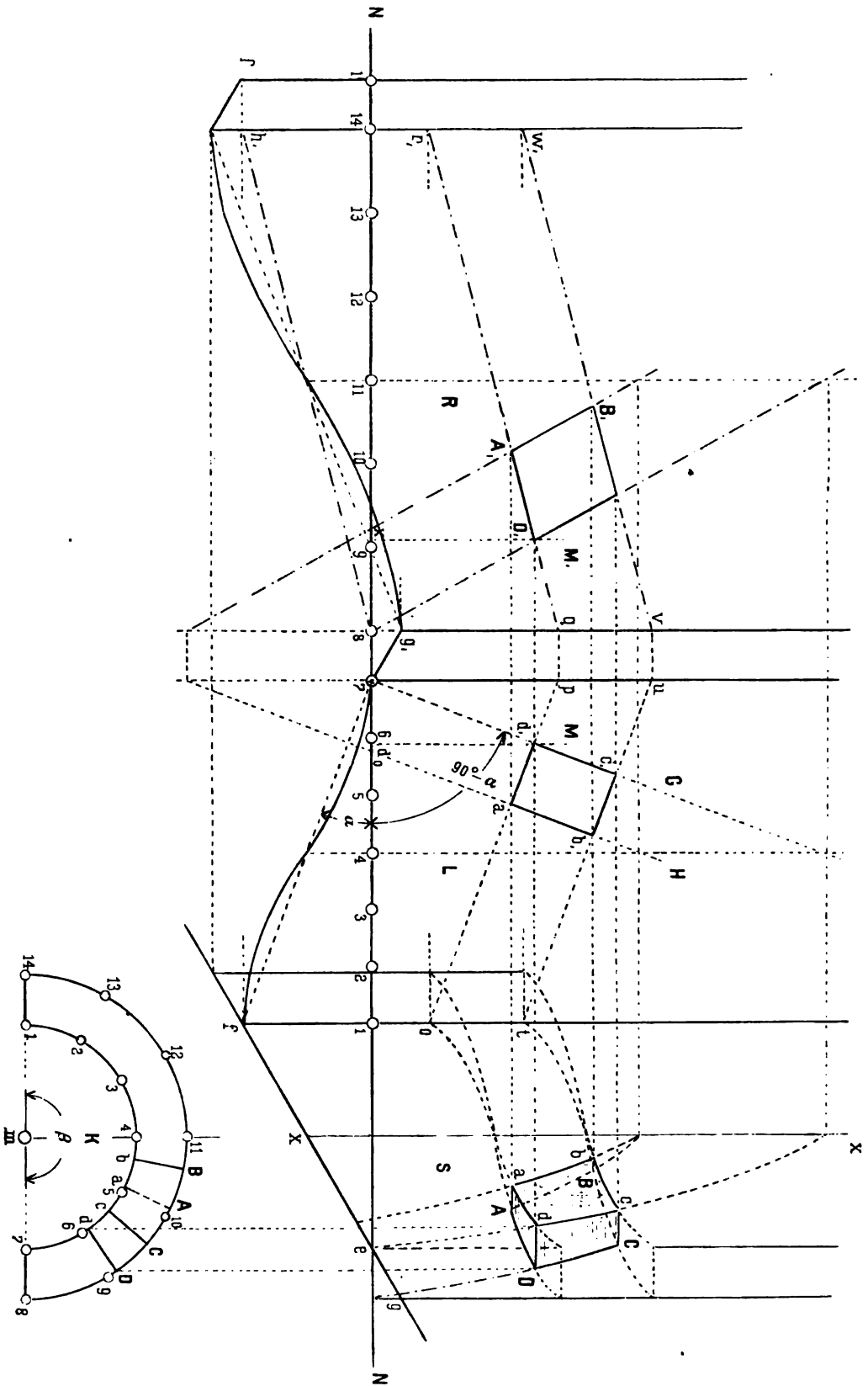
Ist dagegen A ein Fugenpunkt des Theiles II , so läßt man bei umgekehrter Lage der Lehre die Seite aw so an d_1b_1 gleiten, bis die Scheiteltrajectorie durch A zieht. Trifft eine solche Kante die Scheitellinie ls_1 in einem Punkte l_1 , so bildet dieser die Grenze der Lagerkante des Theiles II , und von hier aus ist die weiterziehende zugehörige Lagerkante l_1B des Theiles I wiederum diesem Theile entsprechend zu zeichnen. Die Stofskanten des Theiles II sind mit Hilfe der Stirnlinie al , aber jetzt der Lage a_1l_1 gemäß geführt, einzutragen.

Sind für die Eintheilung des Gewölbes sämtliche Lager- und Stofskanten der Wölbsteine auf der abgewickelten Laibungsfläche desselben eingezeichnet, so bietet die Uebertragung derselben in die wagrechte und lothrechte Projection des schiefen Gewölbes keine Schwierigkeiten, wie auch unter Berücksichtigung der oben für die Stellung der Erzeugenden der Lager- und Stofsflächen unter 3 u. 4 gegebenen Bestimmungen die Ausmittlung dieser Flächen leicht erfolgen kann.

Der Umstand, daß die Winkel, welche die Scheiteltrajectorie mit den zur Kämpferlinie parallelen geraden Mantellinien der Laibungsfläche bildet, vom Scheitelpunkte aus stetig abnehmen, bis sie, da die Trajectorie sich der Kämpferlinie asymptotisch nähert (nach Gleichung 122 ist für $\beta = 0$ die Ordinate $y_1 = \infty$ gefunden) auch nach der Kämpferlinie hin immer mehr dem Werthe Null zusteuern, hat zur Folge, daß bei der Ausführung, namentlich in Werkstücken, sämtliche Steine einer Schicht verschiedene Breiten und Gestaltungen erhalten und daß, abgesehen von Steinen, welche symmetrisch rechts und links zur Gewölbaxe bei sorgfältiger Theilung im Gewölbkörper angeordnet sind, alle Wölbsteine nach verschiedenen Abmessungen bearbeitet werden müssen, ja, daß bei Kreisgewölben mit einigermaßen großem Centriwinkel selbst mehrere neben einander liegende Schichten so dünn werden, daß dieselben zu einer Schicht zu vereinigen sind, um dieselben dann in geeigneter Breite gegen eine andere breitere Schicht treten zu lassen. Derartige im Gefolge der Beobachtung des strengen Fugenschnittes stehende Anordnungen erhöhen die Schwierigkeiten der Ausführung schiefer Gewölbe in mancherlei Weise, und man bedient sich aus diesem Grunde häufig beim Fugenschnitte der schiefen Gewölbe eines Näherungsverfahrens.

Ein solches Verfahren besteht im Allgemeinen darin, daß die Trajectorien auf der Abwickelungsfläche der Gewölbelaibung durch parallele gerade Linien ersetzt werden, welche, auf die Laibung zurückgebracht, Schraubenlinien für die Lagerkanten liefern. Die Stofskanten sind in der Abwickelungsfläche wiederum rechtwinkelig zu den Lagerkanten genommene gerade Linien, welche, auf die Laibung übertragen, wiederum Schraubenlinien ergeben. Ist der Normalschnitt und nicht der

Fig. 280.



Stirnbogen des schiefen Gewölbes bei dieser Fugenanordnung ein Halbkreis oder ein Kreissegment, so ist man bei sorgfältiger Theilung der Wölbschichten im Stande, den sämtlichen Wölbsteinen, mit Ausnahme der Stirn- und Kämpfersteine, congruente Laibungsflächen zu geben.

Die Lager- und Stofsflächen besitzen gerade Linien als Erzeugende, welche senkrecht zur Laibung stehen. Da die Lagerkanten in der Abwicklung parallele gerade Linien sind, so schneidet jede derselben die zur Kämpferlinie des Gewölbes parallelen Mantellinien stets unter demselben Winkel, dem »constanten Fugenwinkel«.

Auf diesen Grundätzen beruht der sog. englische Fugenschnitt, welcher in der Ausführung weit weniger Umstände verursacht, als der vorhin besprochene französische Fugenschnitt.

Zur näheren Erklärung des »englischen Fugenschnittes« möge Fig. 280 dienen.

In derselben ist S ein Theil des Grundrisses des schiefen Gewölbes mit der Axe XX , L die Abwicklung der inneren, R die der oberen Gewölbfläche und K der in der Ebene NN stehende Normalschnitt des Gewölbes, welcher als Halbkreis gewählt ist.

In der abgewickelten Gewölbfläche L ist die maassgebende Lagerkante durch den an der Stirn befindlichen Kämpferpunkt γ , welcher dem Punkte e in S auf NN entspricht, als gerade Linie γG rechtwinkelig zur geraden Verbindungslinie $f\gamma$ der Endpunkte der abgewickelten Stirnlinie gelegt, so dafs γG die Richtung aller Lagerkanten, G, H u. f. w., $f\gamma$ die Richtung aller Stofskanten op, tu u. f. w., wobei letztere sonst für die einzelnen Wölbschichten im Verbaude stehen, bezeichnet. Die Lagerkanten schneiden die zu der Kämpferlinie ft parallelen Mantellinien unter dem constanten Fugenwinkel α ; die Stofskanten treffen diese Mantellinien unter einem Winkel $90^\circ - \alpha$.

Durch diese Anordnung ergibt sich die abgewickelte Laibungsfläche eines Wölbsteines z. B. als das Rechteck $a_1 b_1 c_1 d_1$.

Zur Bestimmung der Lager- und Stofskanten auf der abgewickelten Rückenfläche R sind dieselben, da die Fugenflächen, welche jene Kanten enthalten, auf der inneren Gewölbfläche senkrecht stehen sollen, von den Lager- und Stofskanten der inneren Gewölbfläche abhängig zu machen. Der Punkt d_1 , welcher der Lagerkante γG angehört, liegt auf der zur Kämpferlinie γu parallelen Mantellinie $M d_0$ der Laibungsfläche, um eine Bogenlänge γd_0 von der Kämpferlinie entfernt. Nimmt man demnach im Normalschnitte K die zurückgeführte Bogenlänge $\gamma d_0 = \gamma d$, so ist, wenn in d die Normale dD bis zum Gewölbrücken gezogen wird, durch die Bogenlänge δD die Mantellinie auf der oberen Gewölbfläche, welche den Punkt D_1 auf der oberen Abwicklung R enthalten muß, in ihrer lothrechten Projection bestimmt.

Nimmt man ferner die Bogenlänge δx in der Abwicklung R gleich der Bogenlänge δD , so ist die durch x parallel zu γu , bezw. $g_1 v$ geführte gerade Linie $x M_1$ die gesuchte Mantellinie auf der Fläche R , in welcher D_1 enthalten ist. Der Punkt d_1 liegt aber auch auf der geraden Stofskantenlinie op ; die Stofsflächenfläche schneidet, da ihre Erzeugenden senkrecht zur Gewölbfläche stehen, die abgewickelte Widerlagsfläche $\gamma g_1 v u$ in einer zu $\gamma \delta$ parallelen Geraden $p q$ und ferner, der normalen Stellung jener Erzeugenden halber, die abgewickelte Rückenfläche R in einer zur geraden Verbindungslinie δh_1 , also der abgewickelten Stofskante der oberen Gewölbfläche parallelen Geraden $q r_1$. Der Schnittpunkt derselben mit der Mantellinie $x M_1$ ergibt den gesuchten Punkt D_1 , und die Gerade δD_1 bezeichnet die maassgebende Lagerkante auf der Abwicklung R_1 , während die maassgebende Richtung der abgewickelten Stofskanten die Gerade δh_1 ist. Auf der abgewickelten Rückenfläche ist jedoch eine rechtwinkelige Durchkreuzung der Lager- und Stofskanten, wie solches auf der Abwicklung der Laibungsfläche der Fall ist, nicht vorhanden.

Bestimmt man auf ähnlichem Wege die Lage des Punktes A_1 , so geht durch denselben die zu δD_1 parallel geführte Lagerkante $A_1 B_1$, und nunmehr wird es leicht, die obere Abwickelungsfläche $A_1 B_1 C_1 D_1$, welche der unteren Abwickelungsfläche $a_1 b_1 c_1 d_1$ eines Gewölbsteines entspricht, in der aus Fig. 280 ersichtlichen Weise zu zeichnen.

Bringt man ferner die geraden Lager- und Stofsflächenkanten in die wagrechte Projection durch bekannte Operationen zurück, so erhält man die Schraubenlinien, welche in ab und dc die Lagerkanten, in ad und bc die Stofskanten des gewählten Wölbsteines auf der inneren Laibungsfläche, dagegen in AB und DC die Lagerkanten und in AD und BC die Stofskanten desselben auf der Rückenfläche des schiefen Gewölbes enthalten, während die geraden Linien aA, bB, cC und dD die Grenzerzeugenden der als Schraubenflächen auftretenden Lager- und Stofsflächen sind.

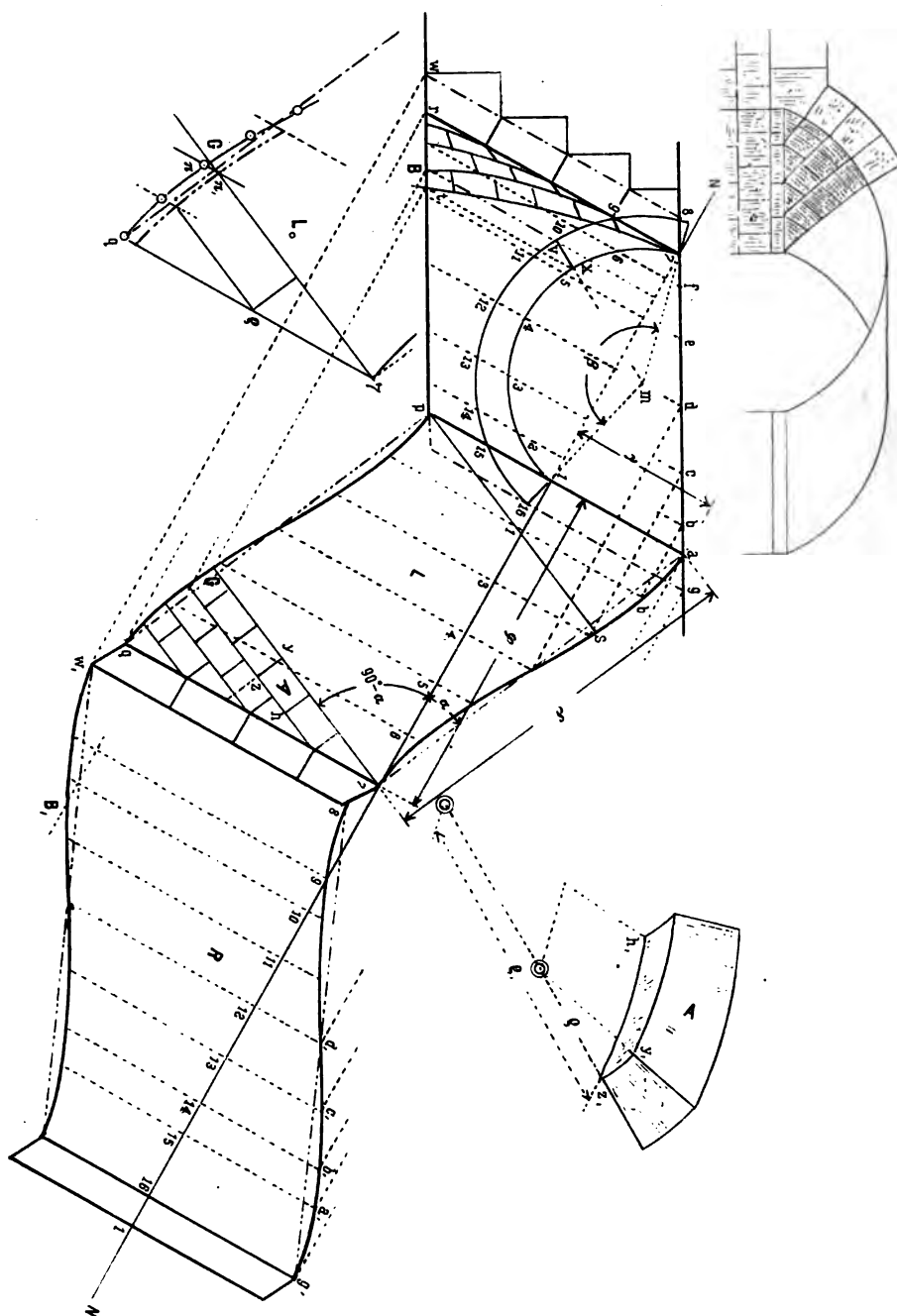


Fig. 281.

Unter Beobachtung der für den englischen Fugenschnitt geltenden Grundsätze ist in Fig. 281 ein schiefes Gewölbe, dessen Normalschnitt ein Kreisbogen mit dem Centriwinkel β ist, in Rücksicht auf die weitere Fugentheilung dargestellt. Die maßgebende Lagerkante $7G$ soll im Endpunkte 7 der Kämpferlinie $7q$ beginnen und auf der für die Stoskanten maßgebenden Richtung $7a$ rechtwinkelig stehen; gleichzeitig soll auch im günstigsten Falle der auf der Stirnlinie $7q$ liegende Endpunkt G dieser Lagerkante ein Theilpunkt für die Gewölbstirn werden. Die Anzahl der Wölbsteine an der Stirnfläche muß aber, damit, wie bekannt, zu beiden Seiten des Schlusssteines eine gleiche Zahl von Wölbsteinen vorhanden ist, eine ungerade sein. Theilt man nun die abgewinkelte Stirnlinie unter Beobachtung sonst günstiger Breitenabmessungen der Wölbsteine in eine solche ungerade Anzahl gleich großer Strecken ein, so wird im Allgemeinen ein solcher Gewölbtheilpunkt nicht sofort oder auch selbst nicht nach mehreren Theilverfuchen mit dem Punkte G zusammenfallen. Tritt dieser Umstand ein, so verfährt man am besten, wenn man die Länge $7q$ der Kämpferlinie des Gewölbes, wie bei L_0 in Fig. 281 zu ersehen ist, um ein an und für sich meistens geringes Stück $\pi\pi_1$ so abändert, daß die abgewinkelte Stirnlinie durch den Punkt π_1 geht, welcher alsdann auch Endpunkt der maßgebenden Lagerkante wird. Auf diese verlegte Stirnlinie werden die Theilpunkte des Gewölbehauptes ohne Weiteres übertragen und durch dieselben die zu $7\pi_1$ parallelen Lagerkanten gezogen. Die auf Verband zu ordnenden Stoskanten richten sich zunächst nach den Punkten ρ , in welchen die Lagerkanten die Kämpferlinien treffen, und nunmehr ist die Theilung der einzelnen Wölbflächen durch Stoskanten so vorzunehmen, daß, abgesehen von den Stirnsteinen, in allen Schichten lauter gleich lange Wölbsteine vorkommen.

Die Kämpfersteine bilden in ihrer Gesamtheit einen sägeförmigen Ansatz für die Wölbflächen und erhalten unter der eigentlichen nur angearbeiteten Kämpferlinie ihrer Haltbarkeit halber stets eine entsprechende Verstärkung (Ueberhöhung).

Die Stirnsteine bieten bei der Bearbeitung wohl einige Schwierigkeiten. Nur die rechts und links an den Häuptern symmetrisch liegenden Steine werden gleich groß und symmetrisch geformt. Die Stirnfugen selbst sind Schnittlinien der Schraubenflächen der Lagerflächen mit der Ebene der Stirn, also im Allgemeinen krumme Linien. Immerhin sind alle diese Umstände weit zurückstehend gegen die, welche sich bei der Herstellung der schiefen Gewölbe nach dem französischen Fugenschnitte geltend machen.

Für die keilförmige Verjüngung der eigentlichen Wölbsteine erhält man als Maß Kreisbogen mit Radien ρ und ρ_1 , welche in Fig. 281 für einen Wölbstein A eingeschrieben sind. Durch die Anwendung dieser Kreisbogen kann die Formgestaltung der Steine erleichtert werden.

Zur Bestimmung des Krümmungshalbmessers ρ der Schraubenlinie für die Stosfugenkante s_1y_1 am Steine A ist die von der Geraden $7a$ abhängige Schraubenlinie maßgebend. Mit Bezugnahme auf Fig. 281 ist, wenn r den Radius $m7$ des Normalschnittes des Cylinders, auf welchem die Schraubenlinie liegt und α den Steigungswinkel $17a$ derselben auf der Abwicklung L bezeichnet, allgemein

$$\rho = \frac{r}{\cos \alpha^2} \quad \dots \dots \dots 123.$$

Es ist aber $\cos \alpha = \frac{\varphi}{\delta}$, also

$$\cos \alpha^2 = \frac{\varphi^2}{\delta^2} = \frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2} \quad \dots \dots \dots 124.$$

Aus den Gleichungen 123 u. 124 folgt

$$\rho = \frac{r}{\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2}} = \frac{r}{\varphi^2} (\varphi^2 + \gamma^2)$$

oder

$$\rho = r \left[1 + \left(\frac{\gamma}{\varphi} \right)^2 \right] \quad \dots \dots \dots 125.$$

Für den Centriwinkel β des als Kreisbogen genommenen Normalchnittes des schiefen Gewölbes wird

$$\varphi = \frac{\pi r}{180^\circ} \beta^0, \quad \dots \quad 126.$$

wodurch Gleichung 125 übergeht in

$$\rho = r + \left(\frac{180^\circ \cdot \gamma}{\pi \beta^0} \right)^2 \frac{1}{r} \quad \dots \quad 127.$$

Der Krümmungshalbmesser ρ_1 der Schraubenlinie für die Lagerkante $z_1 h_1$ des Steines A ergibt sich mit Hilfe der für diese Schraubenlinie in der Abwicklung maßgebenden Geraden γG , für welche der Steigungswinkel $\angle \gamma G = 90 - \alpha$ in Betracht kommt, durch den Ausdruck

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos(90 - \alpha)^2} = \frac{r}{\sin \alpha^2} \quad \dots \quad 128.$$

Nun ist $\sin \alpha = \frac{\gamma}{\delta}$, also

$$\sin \alpha^2 = \frac{\gamma^2}{\delta^2} = \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2} \quad \dots \quad 129.$$

Aus der Verbindung von Gleichung 128 mit 129 folgt

$$\rho_1 = \frac{r}{\frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2}} = r \left[1 + \left(\frac{\varphi}{\gamma} \right)^2 \right],$$

oder, wenn für φ der Werth aus Gleichung 126 eingesetzt wird,

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r \beta}{180^\circ \gamma} \right)^2 r \quad \dots \quad 130.$$

Ist der Normalchnitt des schiefen Gewölbes ein Halbkreis, wofür $\beta = 180$ Grad wird, so erhält man für diesen besonderen Fall, entsprechend Gleichung 127,

$$\rho = r + \left(\frac{\gamma}{\pi} \right)^2 \frac{1}{r} \quad \dots \quad 131.$$

und gemäß Gleichung 130

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r}{\gamma} \right)^2 r \quad \dots \quad 132.$$

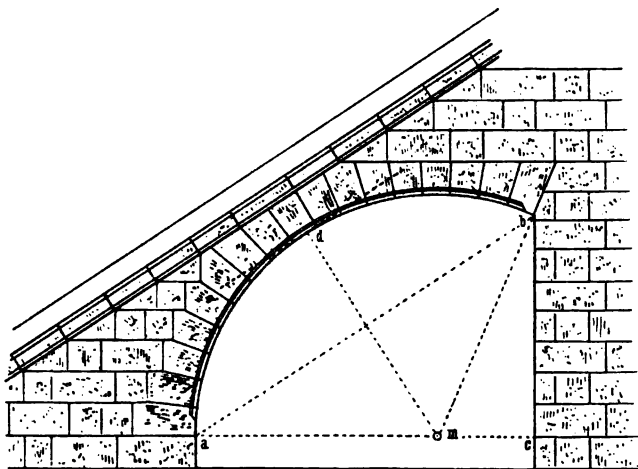
Noch möge hier die Bemerkung Platz finden, daß die Anwendung des constanten Fugenwinkels bei schiefen Gewölben eine gewisse Grenze hat, welche nicht überschritten werden darf, wenn kein Ausbauchen der Gewölbstirnen eintreten soll. Dieser Punkt kann jedoch erst bei Besprechung der Ausführung der Tonnengewölbe (unter c) näher berührt werden, wobei dann ferner unter Berücksichtigung des zur Verwendung gelangenden Wölbmaterials auch noch die Verfahren gekennzeichnet werden sollen, wonach in vereinfachter Weise die Herstellung von schiefen Gewölben für etwa vorzunehmende Deckenbildungen erfolgen kann.

135.
Einhüftige,
Tonnengewölbe

Liegen die wagrechten Kämpferlinien eines Tonnengewölbes (Fig. 282) in zwei verschiedenen wagrechten Ebenen, so heißt dasselbe kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Der Abstand bc jener wagrechten Ebenen entspricht der »Hüfthöhe«, während die wagrechte Entfernung ac der durch a und b gehenden lothrechten Ebenen die Spannweite des Gewölbes ergibt.

Fig. 282.



Halbirungspunkte d eine parallel zu ab gerichtete Tangente, welche als allgemeine Richtungslinie für den vom Gewölbe getragenen Ueberbau gelten kann.

Nicht immer kann jedoch der Punkt d Halbirungspunkt der beabsichtigten erzeugenden Bogenlinie oder die allgemeine Richtungslinie nicht parallel der Verbindungslinie ab bleiben, so daß ein Kreisbogen nicht mehr ohne Weiteres als günstig für die Erzeugende des Gewölbes erscheint. Da außerdem in mancher Beziehung der Ansatze der Erzeugenden in den Kämpferpunkten mit lothrechter Tangente erwünscht ist, so setzt man an die Stelle des Kreisbogens als Erzeugende sehr oft elliptische Bogen oder Korbbogen.

In Fig. 283 ist die Erzeugende acb aus zwei Viertelellipsen ac und bc zusammengesetzt, welche in a und b lothrechte Tangenten, in dem sonst zwischen a und b beliebig gewählten Punkte c eine gemeinschaftliche Tangente cx , welche parallel zu ab zieht, besitzen. Die Punkte der einzelnen elliptischen Bogen sind durch die sog. Vergatterung ermittelt, wobei der um b beschriebene Viertelkreis wx , dessen Halbmesser gleich der Strecke $c\gamma$ auf der durch den gegebenen Punkt c geführten Lothrechten su ist, für die lothrechten Ordinaten der Ellipsenstücke maßgebend wird.

Theilt man die Strecken γa , γb und den Halbmesser bw des Viertelkreises wx proportional, so gehören den entsprechenden proportionalen Theilpunkten die aus dem Viertelkreise zu entnehmenden lothrechten Ordinaten den gesuchten Ellipsenpunkten an.

Die proportionale Theilung erfolgt einfach mit Hilfe des Dreieckes aub , dessen Spitze u beliebig auf der durch c geführten Lothrechten su angenommen ist, und mittels des Dreieckes bvw , dessen Seite bv auf der Lothrechten yb gleich der Strecke γu gemacht wurde.

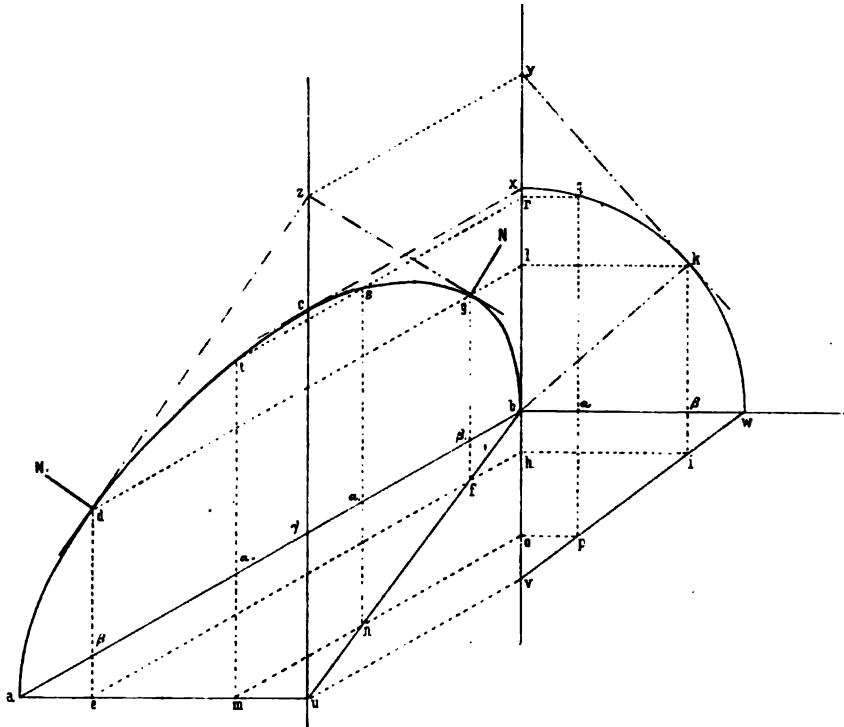
Zieht man durch den beliebig genommenen Punkt β_1 der Strecke γb die Lothrechte gf , wobei f auf ub liegt, alsdann durch f die Gerade he parallel zu ab , durch e die Lothrechte ed , so ist β_1 ein dem Theilpunkte β der Strecke γb entsprechender proportionaler Theilpunkt der Strecke γa .

Führt man durch h den Strahl hi parallel bw und durch i die Lothrechte ik , so ist β wiederum ein Punkt, welcher bw in demselben Verhältnisse theilt, wie der Punkt β_1 die Strecke γb und der Punkt β , die Strecke γa zerlegt. Die Ordinate βk des Viertelkreises wx liefert die Länge der lothrechten Ordinaten β, g und β, d für die gesuchten Punkte d und g der zugehörigen Viertelellipsen. Auf gleiche Weise sind noch die Punkte s und t bestimmt.

Um die Normalen in einzelnen Ellipsenpunkten fest zu legen, verfährt man am einfachsten wie folgt.

Als Erzeugende der einhüftigen Gewölbe kann irgend eine gefetzmäßig gebildete ebene Curve benutzt werden. Bei gegebenen Kämpferpunkten a und b kann in vielen Fällen ein Kreisbogen Verwendung finden, welcher im tiefstgelegenen Kämpferpunkte a eine lothrechte Tangente besitzt und sonst die gerade Verbindungslinie ab als Sehne erhält. Ein derartiger um m zu beschreibender Kreisbogen hat in seinem

Ist der Punkt γ der durch c geführten Lothrechten su der Halbirungspunkt der geraden Verbindungslinie ab der Kämpferpunkte, so wird die Bogenlinie acb eine

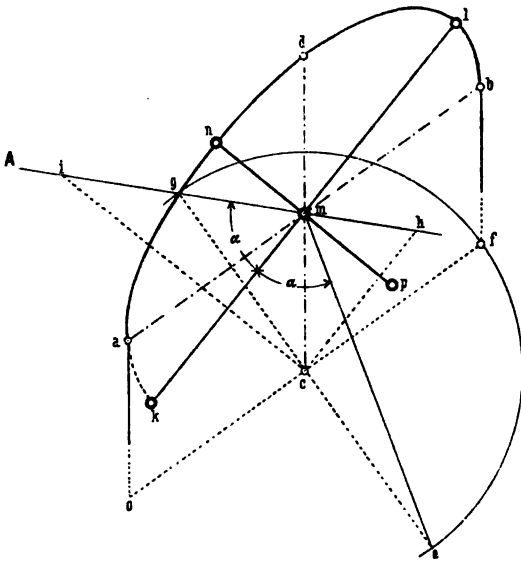


In folchem Falle ist die Ermittlung der Ellipsenpunkte eben so zu bewirken, wie in Fig. 283 gezeigt wurde. Häufig ist es jedoch rathsam, die Ellipse mit Benutzung ihrer reellen Axen zu zeichnen, deren Bestimmung in folgender Weise geschehen kann¹⁵⁹⁾.

Man ziehe durch c die Gerade of parallel zu ab und nehme $cf = co$ gleich dem halben conjugirten Durchmesser ma ; alsdann beschreibe man um c mit dem Halbmesser cf einen Kreis, welcher das in c auf of errichtete Loth in g und e trifft; verbinde den bekannten Mittelpunkt m der Ellipse mit dem Punkte g durch den Strahl A und mit e durch die Gerade me und halbiere den Winkel gme ; alsdann giebt die Halbierungslinie mk dieses Winkels die Lage der einen reellen Axe und das in m auf mk errichtete Loth mp die Lage der zweiten reellen Axe der Ellipse.

Digitized by Google

Fig. 284.

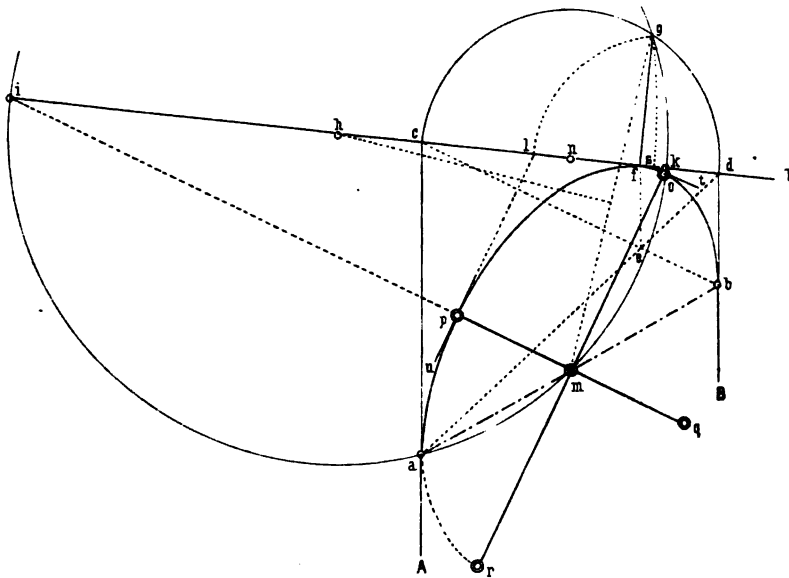


Um die Größe derselben zu finden, ziehe man ch parallel zu mk und ci parallel zu pn ; alsdann wird $mh = mp = nm$ gleich der halben Axe np und $mi = mk = ml$ gleich der halben Axe kl . Mit Hilfe dieser beiden reellen Axen ist die Ellipse nach bekanntem Verfahren zu construiren.

Recht oft sind die beiden lothrechten Tangenten der festen Kämpferpunkte a und b (Fig. 285), so wie eine in bestimmter Richtung vorgeschriebene dritte Tangente für die elliptische Erzeugende des einhöftigen Gewölbes gegeben, und hiernach ist die zugehörige Curve zu ermitteln. Mit Anwendung der Sätze der synthetischen Geometrie kann man sich in solchem Falle der in Fig. 285 gegebenen Lösung bedienen.

Die beiden durch die gegebenen Kämpferpunkte a und b gehenden Lothrechten A und B sollen zwei parallele Tangenten der gesuchten Ellipse sein; die dritte veränderliche, hier gegebene, Tangente sei T . Zur Bestimmung des Berührungspunktes f dieser Tangente mit der Ellipse verbinde man die Schnittpunkte c und d des Strahles T mit den Tangenten A und B durch die geraden Linien ad und bc und ziehe durch den Schnittpunkt e derselben den Strahl ef parallel zu A , bzw. B ; alsdann ist f der

Fig. 285.



gesuchte Berührungspunkt. Errichtet man in f das Loth auf T und beschreibt man über cd einen Halbkreis um n , so wird auf jenem Lothe ein Stück fg abgeschnitten, welches für die weitere Untersuchung von Wichtigkeit ist (Potenz der Involution).

Legt man durch den Punkt m , welcher Mittelpunkt der Ellipse ist, und durch den Punkt g einen Kreis, dessen Mittelpunkt h auf dem Strahle T liegt und welcher diesen Strahl in den Punkten i und k schneidet, so bestimmen die von i durch m und von k ebenfalls durch m geführten geraden Linien iq und kr die Lage der reellen Axen der gesuchten Ellipse.

Um die Größe der Axen zu erhalten, beschreibe man um i mit dem Halbmesser ig den Kreisbogen gs bis zum Punkte s auf T und ziehe st parallel zu im , bis mk im Punkte o geschnitten wird; alsdann ist $mo = mr$ die Länge einer halben Axe der Ellipse. Beschreibt man ferner um k mit dem Halbmesser kg einen Kreisbogen, bis derselbe den Strahl T in l trifft und zieht man lu parallel zu km , bis die Gerade im in p getroffen wird, so ist $mp = mq$ die Länge der zweiten Halbaxe.

Nach Festlegen dieser reellen Axen erfolgt ohne Weiteres das Zeichnen der erzeugenden elliptischen Bogenlinie $apfob$ des einhöftigen Gewölbes.

Statt einer elliptischen Bogenlinie läßt sich auch die Parabel als Erzeugende eines einhöftigen Gewölbes verwenden. Das Zeichnen derselben kann in der in Fig. 262 (S. 154) angedeuteten Weise geschehen, wenn in a und b bei verschiedener Höhenlage derselben auch lothrechte Tangenten angenommen werden und, der Lage der Punkte a , b und c entsprechend, die für die Ermittlung der Parabel maßgebenden Dreiecke adc und bdc benutzt werden.

Statt der erwähnten Kegelschnittlinien wählt man, wie früher schon erwähnt, um in leichter Weise eine normale Fugenstellung zu erhalten, auch für einhöftige Gewölbe eine Korbbogenlinie als Erzeugende, die dann aus zwei oder mehreren Kreisbogen zusammengesetzt ist.

In Fig. 286 u. 287 sind nach einer und derselben Grundlage Korbbogen aus 2 Mittelpunkten beschrieben, welche in den meisten Fällen in ihrer Construction möglich sind.

Die Kämpferpunkte a und b mit ihren zugehörigen lothrechten Tangenten, so wie eine beliebige Gerade cd , welche Tangente des Korbogens sein soll, sind gegeben.

Nimmt man $ac = ce$ und errichtet in e das Loth em , so schneidet dasselbe die durch a geführte Wagrechte im Punkte m , welcher offenbar Mittelpunkt eines Kreises ist, für welchen ac und cd Tangenten sind und dessen Halbmesser $ma = r$ eine nun bekannte Länge erhalten hat. Der Halbmesser $bn = x$ des in b beginnenden Kreisbogens, welcher in diesem Punkte eine lothrecht gerichtete Tangente haben soll, so wie der Mittelpunkt n desselben und sein Vereinigungspunkt o mit dem ersten Kreisbogen, wofolbst für beide Kreisbogen eine gemeinschaftliche Tangente auftreten muß, sind unbekannt. Um zunächst die Größe des Halbmessers x zu finden, beschreibe man um m mit dem Halbmesser ma einen Kreisbogen K_1 , welcher die verlängerte Gerade am im Punkte g schneidet, ziehe die Linie mb und hierzu in b das

Fig. 286.

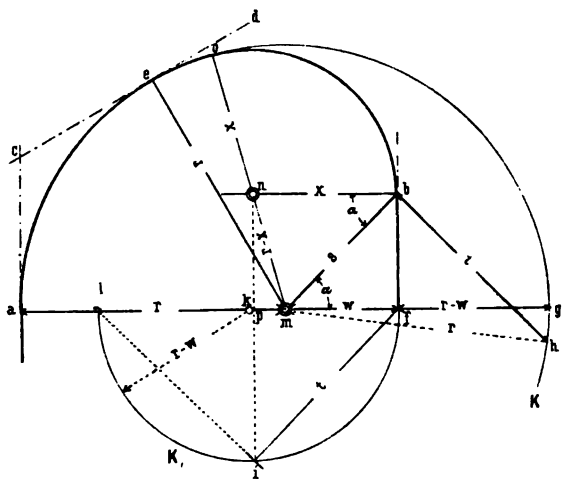
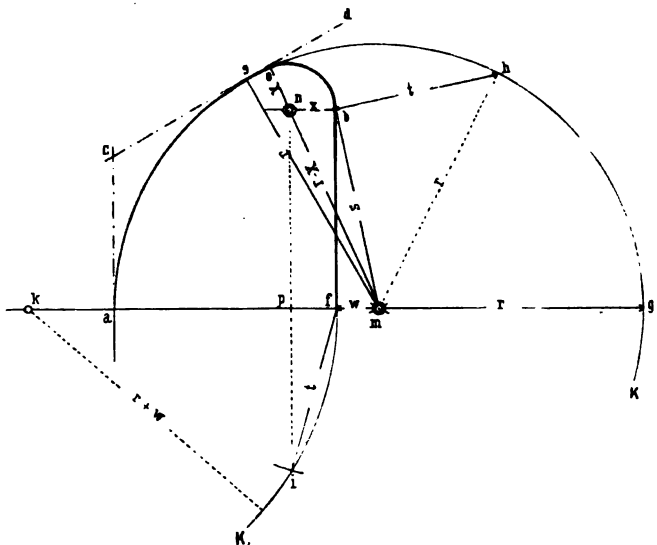


Fig. 287.



ein, und der Vereinigungspunkt o , der beiden Korbboogenkreise liegt unterhalb von q .

Bei Korbboogen für einhüftige Gewölbe, mit mehr als 2 Mittelpunkten, z. B. aus 4 derselben, beschrieben, läßt sich recht oft die in Fig. 289, 290 u. 291 angegebene Construction verwerthen.

Fig. 289.

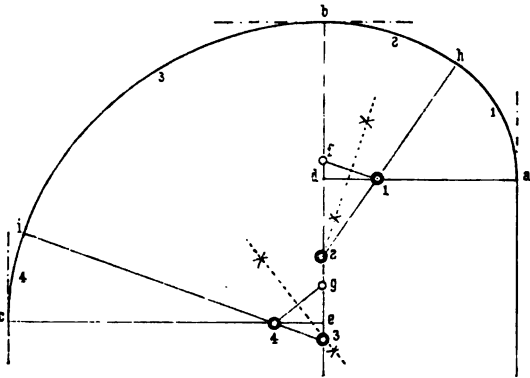
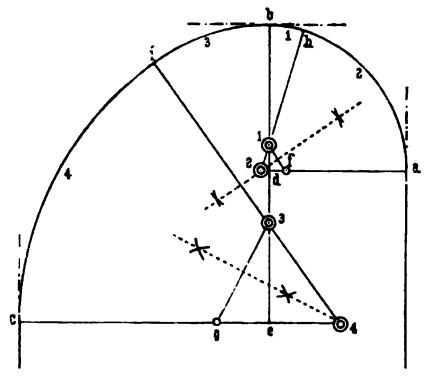


Fig. 290.



Gegeben sind 3 als Tangenten geltende gerade Linien mit den Berührungspunkten a , b und c . Man ziehe in diesen Punkten senkrechte Strahlen zu den Tangenten, bis dieselben, gehörig erweitert und der Reihe nach zu Paaren genommen, in d und e sich schneiden.

Hierdurch entstehen zwei Gruppen von Strecken, nämlich Gruppe aa und bd , so wie Gruppe be und ce . Bei der ersten Gruppe wähle man auf der größeren Strecke derselben einen festen Mittelpunkt 1 für den ersten Kreisbogen, dessen Anfangspunkt der dieser Strecke zugehörige Berührungspunkt ist.

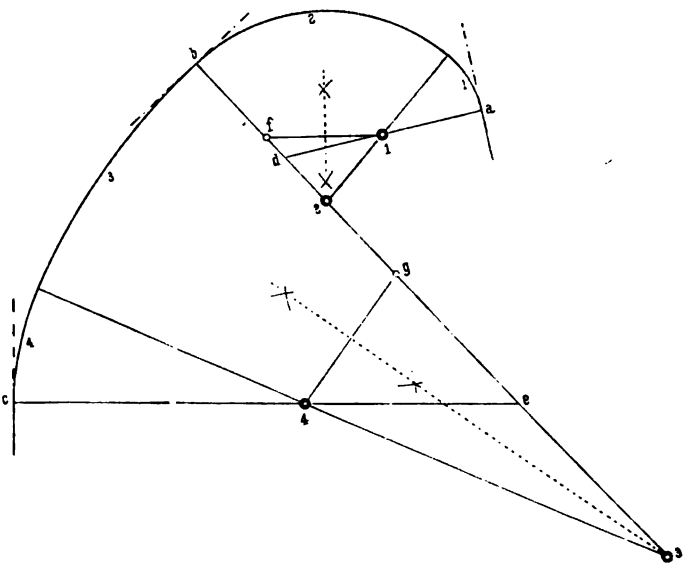
Die Wahl dieses Mittelpunktes ist nur in der Weise beschränkt, daß der Halbmesser des ersten Kreises stets kleiner genommen werden soll, als die kürzere Strecke der in Betracht gezogenen Gruppe. Die Länge des so festgestellten ersten Halbmessers wird vom Berührungspunkte auf der kürzeren Strecke bis f abgetragen, auf der Mitte der Verbindungslinie $1f$ das Loth errichtet, welches die erweiterte kürzere Strecke im Punkte 2 schneidet, welcher als Mittelpunkt des zweiten Kreisbogens auftritt. Eine durch die Mittelpunkte 1 und 2 gelegte gerade Linie bildet den Scheidestrahle der zu vereinigenden beiden Kreisbogen der ersten Gruppe.

Für die zweite Gruppe ist nach denselben Grundätzen zu verfahren.

So sind auch bei der sehr willkürlich genommenen Lage von 3 geraden Linien, welche nur im Allgemeinen als Tangenten dem Laufe einer nach oben gekrümmten Curve angepaßt sind, mit den darauf beliebig fest gelegten Berührungspunkten a , b , c (Fig. 291) die 4 Kreisbogen 1 bis 4 zur Bildung eines einhüftigen Korbboogens in der angegebenen Weise folgendermaßen bestimmt.

Die zu den Tangenten in a und b geführten Normalen der ersten Gruppe schneiden sich im Punkte a . Die Strecke ad ist größer als bd ; mithin ist der Mittelpunkt 1 des ersten Kreises 1 im Abstände $a1$ kleiner als bd gewählt, auf ad angenommen.

Fig. 291.



Hierauf ist $bf = a1$ abgetragen, in der Mitte der Geraden $f1$ das Loth errichtet, welches erweitert den verlängerten Strahl bd in 2 schneidet. 2 ist Mittelpunkt des Kreises 2 . Die durch 2 und 1 geführte Gerade scheidet beide Kreise.

Die in b und c geführten Normalen der zweiten Gruppe treffen sich im Punkte e . Da ce größer ist als be , so ist der Mittelpunkt 4 auf der größeren Strecke ce angenommen und dabei $c4$ kleiner als be gewählt. Nunmehr ist $bg = c4$ auf be abgetragen, wiederum in der Mitte der Verbindungslinie $g4$ das Loth errichtet, welches verlängert die entsprechend fortgeführte Normale be im Punkte 3 , d. i. im Mittelpunkte des Kreises 3 trifft. Der Scheidestrahle der Kreise 3 und 4 ist die durch die Punkte 3 und 4 geführte Gerade.

b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager.

Beim Anfertigen des Entwurfes eines Tonnengewölbes, welches als Decke für einen gegebenen Raum ausgeführt werden soll, tritt die Frage in den Vordergrund, welche Stärke dem Gewölbe und seinen Widerlagern gegeben werden muß, damit diese Baukörper eine sichere und dauernde Standfähigkeit besitzen. Bei der Bestimmung dieser Stärken ist nicht außer Acht zu lassen, daß der Materialaufwand für die Gewölb- und Widerlagsmassen ohne Schädigung der Stabilität der ganzen Wölbanlage ein möglichst kleiner wird. Aus diesem Grunde wird zunächst die geringste Weite des zu überdeckenden Raumes als Spannweite für das Gewölbe angenommen, während die längeren Begrenzungen desselben den Widerlagern zugewiesen werden. Sodann ist die größte Belastung fest zu setzen, welche außer dem Eigengewicht der Construction im ungünstigsten Falle auf das Gewölbe kommen soll, und endlich ist die Beschaffenheit des Materials in Hinsicht auf sein Gewicht und namentlich auf seine Festigkeit gegen Zerdrücken sorgfältig in Betracht zu ziehen.

136.
Stärke
unbelasteter
halb-
kreisförmiger
Tonnengewölbe.

Wenngleich eine große Zahl von empirischen Regeln für die Bestimmung der Stärken der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager aufgestellt worden ist, so haben alle diese Regeln doch nur innerhalb gewisser Grenzen eine Berechtigung für ihre Anwendung; außerhalb dieser Grenzen können sie sogar zu einem Irrthum Veranlassung geben.

Für das Festlegen der Form der Gewölblinie, für die Bestimmung des Fugenschnittes, der Dicke des Gewölbkörpers und der Stärke des Widerlagers sind in jedem besonderen Falle die Wirkungen der im Gewölb- und Widerlagskörper thätigen Kräfte, so weit und so scharf als folches möglich, zu ergründen, um hierdurch die Ueberzeugung von der Festigkeit und Sicherheit des Baukörpers in allen seinen Theilen zu gewinnen.

Diese Aufgabe der statischen Untersuchung der Gewölbe fällt der »Gewöltheorie« anheim. Die Bekanntschaft mit derselben muß hier vorausgesetzt und in dieser Beziehung auf Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Abth. II, Abschn. 4¹⁶⁰) dieses »Handbuches« verwiesen werden.

Wenngleich in den Abhandlungen über »Gewöltheorie« wesentlich die im Ingenieurbauwesen vorkommenden Gewölbe in Betracht gezogen werden, so ist dennoch zu beachten, daß diese Theorie auch für die Gewölbe im Hochbau von großem Werthe ist und in ihren Ergebnissen immer mehr und mehr Verwendung finden sollte. Auf einige wichtige dieser Ergebnisse möge im Folgenden hingewiesen werden ¹⁶¹).

¹⁶⁰) 2. Aufl.: Abth. II, Abschn. 5.

¹⁶¹) Siehe auch: SCHEFFLER, H. Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken. Braunschweig 1857.

ITTER, A. Lehrbuch der Ingenieurmechanik. Hannover 1876.

Ein unbelastetes halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit concentrischer Rückenlinie ist, wenn von der Adhäsion des Mörtels in den Wölbsteinfugen abgesehen wird, eben noch im Zustande des Gleichgewichtes, sobald die Gewölbstärke $d = \frac{1}{17,544}$ der Spannweite s beträgt, oder, da s gleich dem Zweifachen des Halbmessers r der Erzeugenden dieses Gewölbes ist, wenn

$$d = \frac{2r}{17,544} \text{ oder rund } d = \frac{r}{9}$$

wird.

Bei dieser Abmessung verläuft die dem möglichst kleinsten Horizontalschube H entsprechende Mittellinie des Druckes (Stützlinie) nach Fig. 292 als Curve $ABCDE$, welche in den Punkten B und D die innere Wöblinie berührt und an diesen Stellen die fog. Bruchfuge kennzeichnet. Der Bruchwinkel α beträgt 54 Grad 10 Minuten oder nahezu 60 Grad mit dem Scheitellothe Cm ; die Curve selbst nähert sich stark einer Parabel.

Auch bei einem belasteten halbkreisförmigen Tonnengewölbe, bei welchem die Gewölbzwickel ausgemauert oder bei welchem noch außerdem eine Uebermauerung, bezw. eine gleichförmig vertheilte Ueberlast angebracht ist, ergibt sich die Lage der erwähnten Bruchfuge durch einen Bruchwinkel von nahezu 60 Grad.

Hieraus folgt für die praktische Ausführung der Halbkreis-Tonnengewölbe schon die beachtenswerthe Anordnung, daß zweckmäfsig die unteren Wölbstücke BA und DE gar nicht als Gewölbe in Mitleidenchaft gezogen, vielmehr mit dem Wider-

Fig. 292.

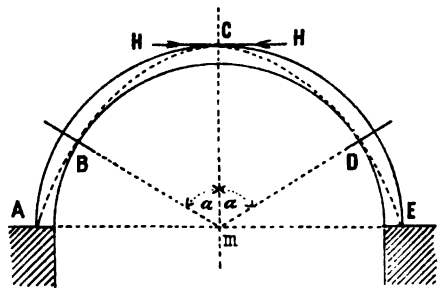
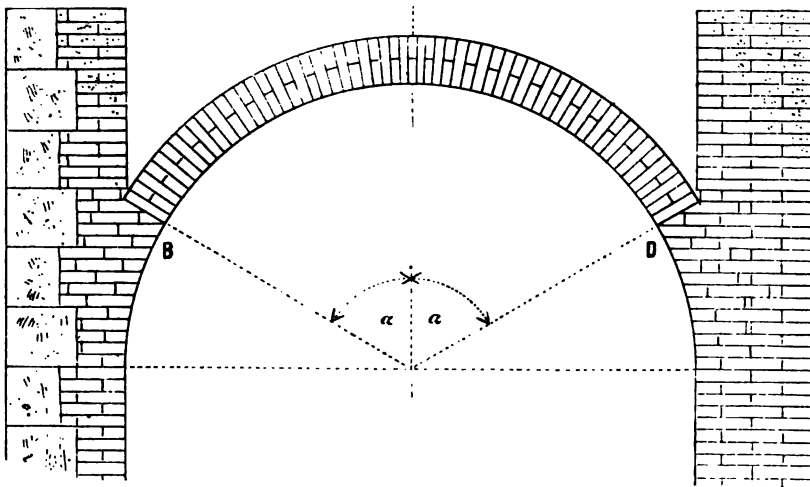


Fig. 293.



lagskörper vereinigt und in wagrechten (Fig. 293) oder noch besser in winkelrecht zur Curve AB , bezw. DE gerichteten Schichten (Fig. 294 u. 295) gemauert werden. Durch diese Construction wird die Spannweite des Gewölbes vermindert; die Gewölbdicke wird sich dadurch geringer gestalten und die Widerlagsstärke sich ebenfalls

Fig. 294.

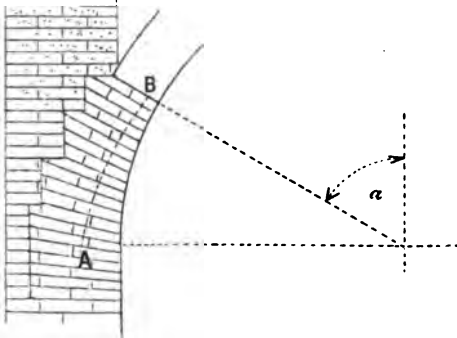
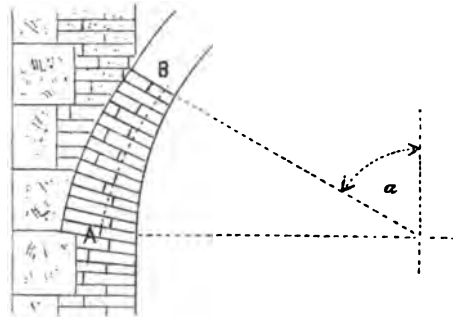


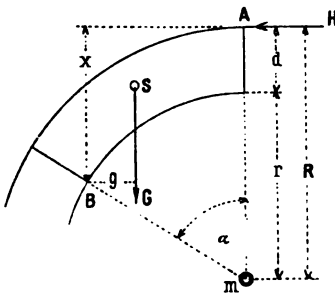
Fig. 295.



verkleinern. Da die Form der Mittellinie des Druckes von der Form der Gewölblinie wesentlich mit abhängt, die erstere aber sich bei Halbkreisgewölben von der Parabel nicht weit entfernt, so folgt, daß bei einer Parabel als Gewölblinie von vornherein auch eine günstige Mittellinie des Druckes in einem Parabel-Tonnengewölbe entspringen wird (vergl. Art. 127, S. 153).

Von Wichtigkeit für die Bestimmung der Gewölbstärke und später der Dicke des Widerlagers ist die Ermittlung der GröÙe des Gewölbschubes H . Für eine

Fig. 296.



beliebige, unter einem Winkel α zur Wagrechten geneigte Fuge B (Fig. 296) eines unbelasteten Halbkreisgewölbes hat der in der Scheitelfuge wirkende wagrecht gerichtete Gewölbschub H mindestens einen Werth, welcher sich nach den Bezeichnungen in Fig. 296 berechnen läßt aus der Gleichung 367 in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 451 ¹⁸²) dieses »Handbuches«

$$H = \frac{G g}{x} \dots \dots \dots 135.$$

Ist nun, wie in üblicher Weise angenommen wird, die Tiefe des Gewölbes rechtwinklig zur Zeichenfläche gleich der Längeneinheit des Zeichenmaßstabes und ferner das Gewicht der Raumeinheit des Wölbmaterials gleich der Krafteinheit, so läßt sich das Gewicht G des Ringstückes AB gleich dem Flächeninhalte dieses Stückes setzen, d. h.

$$G = \frac{R^2 - r^2}{2} \alpha \text{ Quadr.-Met.} \dots \dots \dots 136.$$

Da nun die wagrechte Entfernung g des Schwerpunktes S des Ringstückes vom Punkte B sich als

$$g = r \cdot \sin \alpha - \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2}{\frac{\alpha}{2}} \text{ Met.} \dots \dots \dots 137.$$

bestimmt und da ferner der lothrechte Abstand x des Angriffspunktes A des Gewölbschubes H vom Fugenpunkte B als

$$x = (R - r \cdot \cos \alpha) \text{ Met.} \dots \dots \dots 138.$$

¹⁸²⁾ 2. Aufl.: Art. 274 (S. 258).

erscheint, so erhält man, wenn in Gleichung 137

$$\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

gesetzt wird, unter Einführung der Werthe 136, 137 u. 138 in Gleichung 135,

$$H = \frac{(R^2 - r^2) \frac{r \alpha \cdot \sin \alpha}{2} - (R^3 - r^3) \frac{1 - \cos \alpha}{3}}{R - r \cdot \cos \alpha} \text{ Quadr.-Met.} \quad 139.$$

Es sei $\alpha = 60^\circ$, also näherungsweise dem vorhin ermittelten Bruchwinkel entsprechend; alsdann wird Bogen $\alpha = 1,0472$, $\sin \alpha = \sin 60^\circ = 0,866$ und $\cos \alpha = \cos 60^\circ = 0,5$, mithin

$$H = \frac{0,4584 (R^2 - r^2) r - 0,166 (R^3 - r^3)}{R - 0,5 r} \text{ Quadr.-Met.} \quad 140.$$

Wäre nun die Scheitelfärke d des Gewölbes bekannt, so würde sich die Gröfse von H zahlenmäfsig fest stellen lassen, da bei gegebenem r der Werth $R = r + d$ wird. Andererseits würde dann auch bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit, z. B. $= 1 \text{ m}$, die Fläche der gedachten Scheitelfuge gleich d Quadr.-Met. sein, und endlich würde, wenn die Gröfse H noch mit 1 multiplicirt wird, dieselbe auch sofort als H Cub.-Met. ausgedrückt werden können. Denkt man sich diese H Cub.-Met. als eine Steinfäule des Wölbmaterials auf der Fläche d Quadr.-Met. angebracht und ermittelt man bei dem als bekannt geltenden Eigengewicht γ Kilogr. einer Raumeinheit des Wölbmaterials das Gewicht der erwähnten Steinfäule, so ist

$$\frac{H}{d} \gamma \text{ Kilogr.}$$

als mittlerer Druck für die Flächeneinheit der gedachten Scheitelfuge anzusehen.

Der Werth $\frac{H}{d}$ ist, wie zahlreiche Berechnungen an vielen ausgeführten Gewölben, namentlich bei Brückengewölben, ergeben haben, durchaus nicht constant; im Gegentheil ist derselbe, wie *Scheffler* nachgewiesen hat, sehr veränderlich. Er nimmt mit dem Wachsen des Gewölbschubes zu, aber derart, dafs $\frac{H}{d}$ bei festem Wölbmaterial bei kleinen Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa 3 m Höhe, bei den grössten Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa 60 m Höhe entspricht.

Ist z. B. für ein sehr grosses Gewölbe $H = 90$ gefunden, so müfste, um die Höhe 60 m der entsprechenden Steinfäule nicht zu überschreiten,

$$\frac{H}{d} = 60 \text{ oder } d = 1,5 \text{ m}$$

werden. Als dann ist, wenn 1 cbm dieser Steinfäule 2200 kg wiegt, die mittlere Preffung $\frac{90 \cdot 2200}{1,5 \cdot 1} = 132000 \text{ kg}$ für 1 qm oder 13,2 kg für 1 qcm, während bei einem kleineren Gewölbe, für welches $H = 2$ und $d = 0,3$ sich ergeben hat, die mittlere Preffung $= \frac{2 \cdot 2200}{0,3 \cdot 1} = 11333 \text{ kg}$ für 1 qm oder nur 1,1333 kg für 1 qcm wird.

Im letzteren Falle wäre die Höhe x der Steinfäule zu finden aus $0,3 \cdot 1 \cdot x = 2 \cdot 1$, d. h. $x = 6,66 \text{ m}$.

Bei dem zur Widerlagsfuge von der Stärke d_1 senkrecht gerichteten Gewölbedrucke N treten in Rücksicht auf den Werth $\frac{N}{d_1}$ ähnliche Zustände auf. Aber *Scheffler* hat ermittelt, dafs der mittlere Druck $\frac{N}{d_1}$ für die Flächeneinheit der

Der wichtige Umstand nun, daß auf Grund der an ausgeführten Gewölben vorgenommenen Berechnungen und Beobachtungen die Annahme eines gleichen Festigkeits-Coefficienten für Druck auf die Flächeneinheit nicht statthaft erscheint, so wie der fernere Umstand, daß auch eine gleichförmige Vertheilung des Druckes in den Fugenflächen nicht stattfindet, wie die klaffenden Fugen bei einem etwas mangelhaft construirten und gleich nach der Ausführung ausgerüsteten Gewölbe zeigen, ohne daß ein Einsturz dieses Gewölbes erfolgt, verschaffen der Annahme Raum, daß selbst bei den größten Gewölben in der gedachten Scheitelfuge keine größere mittlere Pressung entstehen soll, als solche dem Gewichte einer Steinsäule von 60 m Höhe entspricht und daß ferner die Widerlagsfuge bei solchen großen Gewölben bei Weitem nicht durch einen Normaldruck beansprucht werden soll, welchen eine Steinsäule von $3 \cdot 60 = 180$ m liefern würde, daß vielmehr nur ein mittlerer Normaldruck zulässig sein soll, welcher durch das Gewicht eines Steinprismas von höchstens 86 m Höhe hervorgerufen wird.

Ohne hier eine Umrechnung der von *Scheffler* gegebenen Tafel zur Bestimmung der Gewölbstärke vorzunehmen, ist in Rücksicht auf die Gewölbe des Hochbauwesens das folgende Verfahren eingeschlagen.

Da die Scheitelgleichung einer Ellipse mit den Halbaxen a und b bekanntlich

ist, so wird, wenn $y = d$, $a = 90$, $b = 1,5$ und $x = H$ gesetzt wird,

oder

Nach dem vorhin bezeichneten Grenzwerthe der Höhe des Steinprismas zu

60 m ist in Gleichung 142 für H höchstens 90 in Rechnung zu bringen. Für $H > 90$ müßte

[illegible]

werden, also im geraden Verhältnisse mit H wachsen. Für Gewölbe im Hochbauwesen ist auf diesen Fall füglich nicht zu rechnen.

Die im Vorhergehenden bezeichnete Zahl 60^m gilt für sehr festes Steinmaterial. Im Hochbauwesen kommt jedoch in den meisten Fällen für den Gewölbebau Backsteinmaterial zur Verwendung, welches im Allgemeinen nicht die Festigkeit gegen Druck besitzt, wie das oben angenommene Steinmaterial. Aus diesem Grunde ist es rathsam, für Backsteingewölbe den Werth

$$\frac{H}{d} = 50$$

zu setzen, d. h. die Höhe des Backsteinprismas nur zu höchstens 50 m anzunehmen.

Da H die Größe 90 beibehält, so ergibt sich nunmehr

$$d = \frac{90}{50} = 1,8 \text{ м.}$$

Beträgt das Gewicht von 1 cbm Backsteinmaterial 1600 kg, so wird die mittlere
 Preßung $\frac{90 \cdot 1600}{1,8 \cdot 1} = 80000 \text{ kg}$ für 1 qm oder 8 kg für 1 qcm.

Unter Anwendung der Werthe für $d = 1,8$ und dem zugehörigen $H = 90$ erhält man entsprechend der Gleichung 141 nun für Backsteinmaterial

$$d = \frac{1,8}{90} \sqrt{(180 - H)H} 144.$$

oder

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - H)H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 145.$$

Würde im besonderen Falle H gröfser als 90, fo müfste

[illegible]

genommen werden.

Ein gleicher Zusammenhang, wie zwischen H und d , besteht auch zwischen dem Normaldruck N und der hierfür auftretenden Gewölbstärke d_1 , wenn nur zuvor in Rücksicht gezogen wird, daß, wie vorhin erwähnt, $\frac{N}{d_1}$ höchstens $= 3 \cdot 60 \text{ m} = 180 \text{ m}$ werden soll.

Man erhält ähnlich wie in Gleichung 141, sobald in der Ellipsen-Gleichung $3a$ statt a gesetzt wird,

$$d_1 = \frac{1,5}{3 \cdot 90} \sqrt{(2 \cdot 3 \cdot 90 - N) N}, \quad \dots \quad 147.$$

d. h.

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - N) N} \dots\dots\dots 148.$$

als allgemeinen Ausdruck für die von N abhängige Gewölbstärke. Da aber bei größeren Gewölben höchstens

$$\frac{N}{d_1} = 86 \text{ m}$$

werden soll und dieser Werth nach Ausweis derartiger ausgeführter Gewölbe für N nahezu gleich 114 eintritt, so ergibt sich

$$d_1 = \frac{114}{86} = 1,34 \text{ m}$$

und gleichzeitig für N ein Grenzwert bei der Anwendung von Gleichung 148.

Für $N \geq 114$ ist $d_1 = \frac{1,34}{114} N$, d. h.

$$d_1 = \frac{1}{8,6} N \quad 149.$$

zu nehmen, während für kleinere Werthe von N die Stärke d_1 nach Gleichung 148 ermittelt werden kann.

Bei Backsteingewölben ist es aus denselben Gründen, wie solche vorhin bei diesen Baukörpern angegeben sind, zweckmäßig, den Factor $\frac{1}{180}$ in Gleichung 148 herabzumindern, wie solches in Gleichung 145 für d geschehen ist, und denselben auf $\frac{1}{3 \cdot 50} = \frac{1}{150}$ zu bringen. Danach wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - N) N}, \quad 150.$$

worin N höchstens bis 114 eintreten soll.

Für $N \geq$ als 114 wird fachgemäß $\frac{N}{d_1}$ nicht mehr gleich 86, sondern geringer genommen, so daß $\frac{N}{d_1} = 72 \text{ m}$ gesetzt wird.

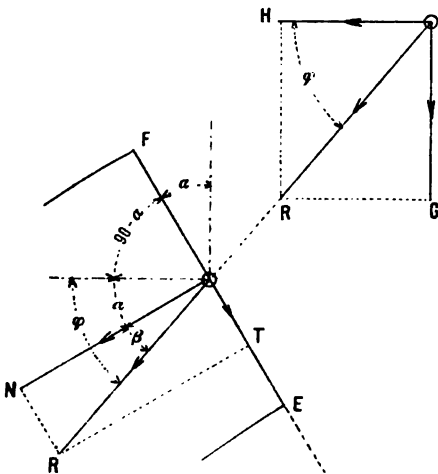
Hiernach wird bei dem Grenzwert $N = 114$

$$d_1 = \frac{114}{72} = 1,58 \text{ m}$$

und nunmehr für $N \geq 114$ die Stärke $d_1 = \frac{1,58}{114} N$, d. h. genau genug

$$d_1 = \frac{1}{72} N \quad 151.$$

Fig. 297.



Wenn im Hochbauwesen bei Tonnengewölben die Gleichung 151 wohl nicht in Anwendung kommt, so ist doch bei größeren Kuppelgewölben ihre Benutzung nach Ermittlung des Normaldruckes, welchen die Kuppel auf ihrer Basis hervorruft, unter Umständen für die Bestimmung der Gewölbestärke der Kuppel an ihrem Fulse erforderlich.

Für die Anwendung der für d , bzw. d_1 gegebenen Gleichungen ist noch das Folgende zu beachten.

Liefert der Normaldruck N kleinere oder gleiche Werthe als der Gewölbschub H , so ist der für H gefundene Werth d durchweg für das ganze Gewölbe beizubehalten. Entsteht

Bringt man diesen Werth in Gleichung 145, so ist

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 0,87) 0,87} = 0,16 \text{ m},$$

womit ein erster Näherungswerth für d berechnet ist. Unter Benutzung desselben wird weiter nach Gleichung 140

$$H = \frac{0,4584 (4,16^2 - 4^2) 4 - 0,166 (4,16^3 - 4^3)}{4,16 - 0,5 \cdot 4} = 0,48.$$

Für diesen Gewölbschub liefert Gleichung 145 die Gewölbfstärke $d = 0,18 \text{ m}$.

Da die Untersuchung zeigt, daß die Gewölbfstärke d einen größeren Werth als $d = 0,12 \text{ m}$ beansprucht, so möge jetzt $d = 0,20 \text{ m}$ genommen werden. Hierdurch erhält man nach Gleichung 140 den Gewölbschub $H = 0,59$ und dann nach Gleichung 145 die Gewölbfstärke $d = 0,208 \text{ m}$, welche nur noch wenig von $d = 0,20 \text{ m}$ abweicht, so daß hiermit die Rechnung ihren Abschluß findet.

Hätte man d statt $0,20 \text{ m}$ zu $0,25 \text{ m}$ eingeführt, so hätte man durch das Ausrechnen für d nur nahezu $0,22 \text{ m}$ und damit die Anzeige erhalten, daß die Gewölbfstärke kleiner als $0,25 \text{ m}$ zu nehmen wäre.

Für den Normaldruck N ergibt sich nach Gleichung 153, da $H = 0,59$ ist,

$$N = 0,5 \cdot 0,59 + 0,866 G,$$

worin nunmehr

$$G = \frac{4,2^2 - 4^2}{2} 1,0472 = 0,859$$

wird, so daß man

$$N = 1,04$$

erhält. Mit Benutzung von Gleichung 150 ergibt sich weiter

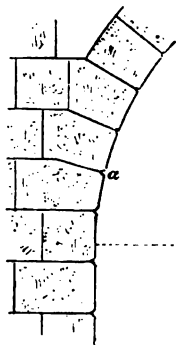
$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 1,04) 1,04} = 0,15 \text{ m}.$$

Da nun auch in diesem Beispiele d_1 kleiner als d wird, so ist wiederum das Gewölbe in gleicher Stärke auszuführen. Da man aber statt $d = 0,20 \text{ m}$ in der Praxis d entsprechend der Backsteinlänge zu $0,25$ nimmt, so ergibt sich hierdurch von selbst noch eine etwas erhöhte Gewölbfstärke.

Nach der von *Rondelet* herrührenden empirischen Regel würde sich $d = \frac{2 \cdot 4}{36} = 0,22 \text{ m}$ ergeben haben.

Ein ohne Hintermauerung und nicht mit wagrecht vorgemauerten Anfängern versehenes, frei im Widerlager aufstehendes, unbelastetes Halbkreisgewölbe mit einem Halbmesser $r = 4 \text{ m}$, müßte, so lange noch nicht auf eine kräftige Verkittung der Wölbfsteine durch den Fugenmörtel gerechnet werden darf, nach den früher gemachten Angaben mindestens $\frac{2r}{17,544} = \frac{2 \cdot 4}{17,544} = 0,456 \text{ m}$ stark werden, um bei dieser Stärke sich im Grenzzustande des Gleichgewichtes gegen Drehung und Gleiten zu befinden. Statt der Dicke d von $0,456 \text{ m}$ würde man selbstverständlich die Stärke von zwei Backsteinlängen, d. h. einschließlic der Fuge $0,51 \text{ m}$ zur Ausführung bringen.

Fig. 298.



Aus dem Vergleiche dieser Gewölbfstärke mit der im zweiten Beispiele geführten Rechnung ist wiederum deutlich der Vortheil zu erkennen, welcher sich für den Gewölbkörper mit den bis zur Bruchfuge in wagrechten Schichten ausgeführten Gewölbanfängern herausstellt.

Eine solche in wagrechten Schichten aufgemauerte Construc-tion des Gewölbanfängers ist auch bei Tonnengewölben aus Quadern nach Fig. 298 in jeder Beziehung anzurathen. Hierbei treten zur Vermeidung von spitzen Winkeln kurze, senkrecht zur Wölblinie stehende Fugen a auf, welche an ihren vorderen Kanten eine geringe Abschrägung, den fog. Druckschlag erhalten. Dieser Druck-schlag verhindert in vielen Fällen das Abspren-gen der Steinkanten

137.
Gewölbe-
anfänger.

durch diejenigen Pressungen, welche unter Umständen bestrebt sind, sich im Gewölbkörper der Wölblinie zu nähern.

Treten zwei Tonnengewölbe gegen eine gemeinschaftliche Widerlagsmauer, so ist der Gewölbanfänger, gleichgiltig, welches Material zum Gewölbe benutzt wird, nach Fig. 299 für beide Baukörper gemeinsam in wagrechten Schichten bis zu den Bruchfugen auszuführen. Eine Anordnung nach Fig. 300 ist in hohem Grade zu tadeln, da der im Gewölbzwickel auftretende Mauerkörper als ein durch die obere Belastung stark eingefügter Keil auftritt, welcher nachtheilig auf das Baufsystem einzuwirken vermag.

Bei Backsteinmaterial ist das Verhauen der Steine im Anfänger an der Laibungsfläche (Fig. 301) unnöthig, da, falls ein Verputzen des Gewölbes im Inneren vorgenommen werden soll, dieselbe, wie bei *a*, sich in die sog. Ueberkragungen der Steine legt. Für derartige Gewölbe, deren Laibungsflächen keinen Putz erhalten sollen, ist die Anwendung von Formsteinen nach Fig. 302 empfehlenswerth.

Tonnengewölbe, wie Gewölbe überhaupt, welche nur als fog. unbelastete Gewölbe ihr Eigengewicht zu tragen haben, kommen allerdings bei Deckenbildungen im Hochbauwesen vor. Recht oft jedoch erfahren derartige Gewölbe noch weitere Belastungen durch Hintermauerung, d. i. Ausfüllung der Gewölbzwickel, durch vollständige Uebermauerung, durch darüber liegende Fußboden-Constructionen, durch Aufschüttungen und durch ab und zu auftretende veränderliche Belastungen, welche häufig ein bedeutendes Gewicht ergeben.

Denkt man sich die gefammte in Frage kommende fernere Belastung des Gewölbes ersetzt durch einen Steinkörper von gleichem Material, woraus das Gewölbe besteht, so erscheint der Querschnitt des Gewölbes mit seiner Belastung unten und oben begrenzt durch die innere Wölblinie und die obere Belastungslinie, welche zwischen sich die Belastungsfläche enthalten. Da nach dieser Zurückführung der auf das Gewölbe kommenden Belastung auf eine Masse, welche dasselbe Eigengewicht besitzt, wie das Gewölbmaterial, Gleichartigkeit vorhanden ist, so kann man nach Festlegen der Belastungsfläche, bei der Annahme der Gewölbetiefe gleich der Längeneinheit, ohne fernere Umrechnungen des Gewichtes der Belastung sofort der Stabilitätsuntersuchung des Gewölbes näher treten und sich hierbei der Rechnung oder vielfach kürzer der einschlägigen Verfahren der graphischen Statik bedienen.

Fig. 299.

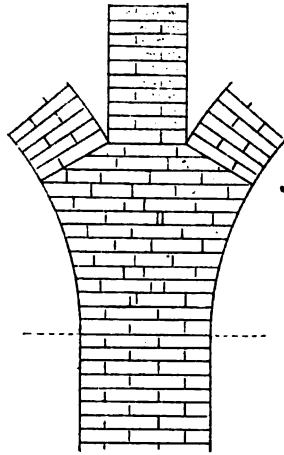


Fig. 300.

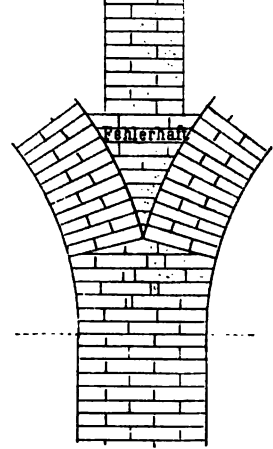


Fig. 301.

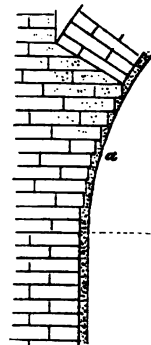
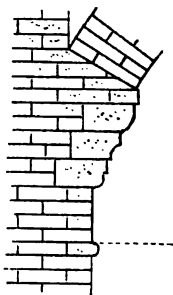


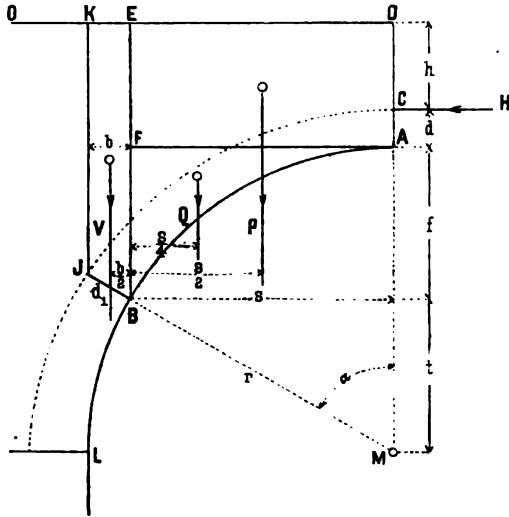
Fig. 302.



Für den hier vorliegenden Zweck, Anhaltspunkte für die Ermittlung der Gewölbstärke zu gewinnen, soll zunächst der Weg der Rechnung betreten werden.

Es sei nach Fig. 303 AL die innere halbkreisförmige Wöblinie eines Tonnengewölbes mit dem Halbmesser r , DO die vorhin gekennzeichnete, hier wagrecht gelegte Belastungslinie und $B\mathcal{F}$ eine beliebige, unter einem Winkel α von der Scheitel-

Fig. 303.



Lothrechten MA abweichende Gewölbefuge; alsdann kann man bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit die Größe der Belastungsfläche $ADK\mathcal{F}B$, welche bis zur Fuge $B\mathcal{F}$ in Betracht kommt, sofort auch an die Stelle des Gewichtes setzen, welches vom Gewölbe sammt seiner Belastung herrührt und auf der Fugenfläche von $B\mathcal{F}$ ruht. Die Länge dieser Fuge möge gleich d_1 sein.

Zerlegt man die ganze Belastungsfläche in die Einzelflächen $ADEF$, AFB und $BEK\mathcal{F}$, betrachtet man ferner, was für die weitere Untersuchung mit hinreichender Genauigkeit zulässig erscheint, den Kreisbogen AB als einen Parabelbogen, dessen Scheitel A ist, so erhält man nach den Bezeichnungen in Fig. 303

$$P = (d + h) s, \quad 154.$$

$$Q = \frac{1}{3} f s \quad 155.$$

und genau genug

$$V = (d + h + f) b,$$

oder, da $b = \frac{d_1 s}{r}$ ist,

$$V = (d + h + f) d_1 \frac{s}{r}; \quad 156.$$

mithin, wenn G das Gesamtgewicht der in Rechnung gezogenen Belastungsfläche ausdrückt,

$$G = s \left[d + h + \frac{f}{3} + (d + h + f) \frac{d_1}{r} \right]. \quad 157.$$

In Bezug auf den Fugenpunkt B erhält man unter Berücksichtigung der Schwerpunktsabstände der betrachteten Einzelflächen das statische Moment

$$\mathfrak{M} = P \frac{s}{2} + Q \frac{s}{4} - V \frac{d_1 s}{2r},$$

oder, unter Benutzung der Gleichungen 154 bis 156, auch

$$\mathfrak{M} = \frac{s^2}{12 r^2} \{ r^2 [6 (d + h) + f] - 6 (d + h + f) d_1^2 \} \quad 158.$$

Nimmt man vorläufig wiederum an, der Angriffspunkt des Gewölbschubes H befinde sich im höchsten Punkte C der gedachten Scheitelfuge AC , sieht man also dabei vorderhand davon ab, dafs, wie später noch besprochen werden wird, dieser

Angriffspunkt von H sowohl, als auch der Punkt B von der Gewölbkante aus mehr in das Innere der Gewölbfläche rücken muß, so hat man das statische Moment des Gewölbschubes H als $H(d+f)$ für den Gleichgewichtszustand gegen Drehung dem Werthe M in Gleichung 158 gleich zu setzen und erhält danach

$$H = \frac{s^2}{12(d+f)r^2} \{ r^2 [6(d+h)+f] - 6(d+h+f)d_1^2 \} . . 159.$$

Nun ist $s = r \cdot \sin \alpha$ und $f = r - t = r(1 - \cos \alpha) = 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2$.

Führt man diese Werthe in Gleichung 159 ein, so ergibt sich

$$H = \frac{\sin^2 \alpha}{6 \left[d + 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right]} \left\{ r^2 \left[3(d+h) + r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right] - 3 \left[d + h + 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right] d_1^2 \right\} , . 160.$$

und außerdem erhält man unter Benutzung der für s und f gegebenen Ausdrücke nach Gleichung 157

$$G = r \sin \alpha \left\{ d + h + \frac{2}{3} r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 + \left[d + h + 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right] \frac{d_1}{r} \right\} . 161.$$

Mit Hilfe der Gleichung 160 kann für ein belastetes Halbkreisgewölbe mit wagrechter Belastungslinie, welche im Scheitel für eine Belastungshöhe h ermittelt und fest gelegt ist, der Gewölbschub H bestimmt werden, indem man zunächst d willkürlich oder schätzungsweise annimmt, ferner d_1 vorläufig gleich d setzt, endlich den Winkel α entsprechend den früheren Erörterungen gleich einem Bruchwinkel von 60 Grad einführt und dann mittels der Gleichung 142, bzw. 145 die Gewölbstärke berechnet. Den Normaldruck N findet man, sobald G und H bestimmt sind, nach Gleichung 152, bzw. 153 und hiernach die Stärke d_1 unter Benutzung der Gleichung 148, bzw. 150.

Beispiel. Für ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe aus Backstein sei $r = 3$ m und $h = 0,3$ m; diese Höhe entspricht, wenn dieselbe über der vollen Ausmauerung der Zwickel des Gewölbes beständig bleibt, einer gleichförmig vertheilten Ueberlast von 480 kg für 1 qm Grundrißfläche. Der Bruchwinkel $\alpha = 60$ Grad; die Gewölbstärke ist zu berechnen.

Setzt man vorweg und ganz willkürlich $d = 0,12$ m und ebenfalls $d_1 = 0,12$ m, so erhält man nach Gleichung 160, da $\sin \alpha = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ ist,

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6 \left(0,12 + 6 \frac{1}{4} \right)} \left\{ 9 \left[3(0,12 + 0,3) + 3 \frac{1}{4} \right] - 3 \left[0,12 + 0,3 + 6 \frac{1}{4} 0,12^2 \right] \right\} = \approx 1,29 ;$$

mithin nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 1,29) 1,29} = 0,303 \text{ m};$$

sonach war die Gewölbstärke d ursprünglich viel zu gering genommen.

Setzt man jetzt, da das Gewölbe stärker als eine Backsteinlänge werden muß, aus praktischen Gründen sofort die Dicke des Gewölbes zu $1\frac{1}{2}$ Backsteinlängen, d. i. zu $0,38$ m und behält man $d = d_1$ bei, so wird nun

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6 \left(0,38 + 6 \frac{1}{4} \right)} \left\{ 9 \left[3(0,38 + 0,3) + 3 \frac{1}{4} \right] - 3 \left[0,38 + 0,3 + 6 \frac{1}{4} 0,38^2 \right] \right\} = 1,49 ,$$

wofür sich nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 1,49) 1,49} = 0,326 \text{ m}$$

ergiebt.

Dieses Ergebnis zeigt, daß die zu 0,38 m angenommene Scheitelfstärke des Gewölbes etwas zu groß sein würde. Da jedoch ohne unnützes Verhauen der Backsteine die Herabminderung der Stärke nicht fachgemäß eintreten kann, so wird die Dicke von 0,38 m für die Ausführung des Gewölbes genommen.

Nachdem H genau genug zu 1,49 bestimmt und d zu 0,38 m bekannt geworden ist, läßt sich der Normaldruck N für die Bruchfuge mit dem Winkel $\alpha = 60$ Grad nach Gleichung 153 als

$$N = 0,5 \cdot 1,49 + 0,866 G$$

finden.

Nach Gleichung 161 wird unter Einführung der bekannten Größen und bei der Annahme $d = d_1$ nunmehr

$$G = 3 \cdot 0,866 \left[0,38 + 0,3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0,38 + 0,3 + 6 \cdot \frac{1}{4} \right) \frac{0,38}{3} \right] = 3,778$$

und somit

$$N = 0,745 + 3,272 = \infty 4;$$

folglich wird nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 4) 4} = 0,326 \text{ m.}$$

Da diese Größe den Werth von 0,38 m für d nicht erreicht, so ist eine Vermehrung der Gewölbfstärke nach der Bruchfuge zu nicht erforderlich.

Wird das in Frage stehende Tonnengewölbe in seinen Anfängern bis zur Bruchfuge nicht in wagrechten Schichten aufgemauert, so ist noch zu prüfen, ob der Normaldruck, welcher die wagrechte Widerlagsfuge trifft, nicht eine größere Gewölbfstärke verlangt, als die bis jetzt fest gesetzte ist. Da für diese Fuge Winkel α gleich 90 Grad wird, so erhält man nach Gleichung 152 sofort $N = G$ und weiter nach

Gleichung 161, da $\sin \alpha = \sin 90 = 1$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 45$ Grad $= \frac{\sqrt{2}}{2}$, also $(\sin 45)^2 = \left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$ ist,

$$G = 3 \left[0,38 + 0,3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0,38 + 0,3 + 6 \cdot \frac{1}{2} \right) \frac{0,38}{3} \right] = \infty 6,44.$$

Bringt man $G = N = 6,44$ in Gleichung 150, so folgt

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 6,44) 6,44} = 0,39 \text{ m.}$$

Diese Stärke weicht nur um 1 cm von der früher erhaltenen Stärke ab, so daß d füglich durchweg beibehalten werden könnte. Die Untersuchung lehrt aber, daß für Halbkreisgewölbe bei der Bestimmung der Gewölbfstärke mit Vorrichtungsverfahren werden muß, daß wiederum wagrecht aufgemauerte Anfänger rathsam erscheinen oder daß bei größeren Tonnengewölben das Verlassen der als Halbkreis auftretenden Erzeugenden und Ersetzen derselben durch einen Parabelbogen, dessen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ist, sich als erwünscht und als rathlich zeigt.

Ist bei halbkreisförmigen Tonnengewölben in der angegebenen Weise die Gewölbfstärke zu berechnen, so kann dasselbe Verfahren der Untersuchung auch bei Tonnengewölben, deren Erzeugende elliptische Bogen, Korbbogen, Parabelbogen oder Spitzbogen sind, und ferner auch bei flachbogigen, so wie bei einhüftigen Gewölben zur Anwendung kommen. Da hierbei die Bestimmung des Gewölbschubes H Hand in Hand geht mit dem Festlegen der Form der Wölblinie, der Gewölbfstärke und gleichzeitig beeinflusst wird durch die in der Belastungsfläche ausgedrückte Ueberlast des Gewölbes, so wird zur Vermeidung vielfacher oder umständlicher Rechnungen die erste Ermittlung von H am einfachsten auf graphischem Wege vorgenommen¹⁶³).

Allerdings ist auch hierbei vorweg eine Gewölbfstärke schätzungsweise anzunehmen. Um diese Schätzung zu erleichtern, bedient man sich wohl der empirischen Formeln, welche aber, wie ausdrücklich hier betont werden mag, ein weiteres genaueres Festlegen der Gewölbfstärke in jedem einzelnen Falle durchaus nicht ausschließen dürfen. Von derartigen empirischen Regeln spielen in der Literatur des Bauwesens immer noch die von *Rondelet* aufgestellten Formeln eine Rolle, wovon die folgenden hier angeführt werden mögen.

139.
Stärke
anders
geformter
Gewölbe.

140.
Rondelet's
Formeln
für die
Gewölbe-
stärke.

¹⁶³) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte dieses »Handbuches«, Art. 483, S. 453 (2. Aufl.: Art. 264, S. 260).
Handbuch der Architektur. III. 2, c.

Für Gewölbe mit halbkreisförmiger und auch mit elliptischer Wölblinie und Quadern als Wölbmaterial, so wie unter der Voraussetzung, daß diese Gewölbe im Widerlager doppelt so stark sind wie im Scheitel, soll, wenn d die Schlufssteinfstärke und s die Spannweite (in Met.) bezeichnen, sein:

- 1) für unbelastete Gewölbe: $d = 0,01 s + 0,08$ Met.,
- 2) für mittelfark belastete Gewölbe: $d = 0,02 s + 0,16$ Met. und
- 3) für stark belastete Gewölbe: $d = 0,04 s + 0,32$ Met.

So würde z. B. das zuletzt unterfuchte, mittelfark belastete Tonnengewölbe mit dem Halbmesser von 3 m, also der Spannweite von 6 m, wenn dasselbe statt aus Backsteinmaterial aus Quadern ausgeführt werden sollte, nach der Regel 2 eine Scheitelfärke $d = 0,02 \cdot 6 + 0,16 = 0,28$ m erhalten.

Nach Gleichung 142, welche für Quadergewölbe zu benutzen ist, würde, da H in dem erwähnten Beispiele zu 1,49 gefunden worden ist, welcher Werth auch hier beibehalten werden kann,

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 1,49) 1,49} = 0,272 \text{ m}$$

sich ergeben haben, mithin nur eine äußerst geringe Abweichung aufweisen.

Für die Stärke am Widerlager würde nach der *Rondelet'schen* Regel die Abmessung d_1 sich zu $2d = 0,56$ m fest stellen, welche als reichlich groß anzusehen ist. Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge würde nach Gleichung 152 sich $N = G$ ergeben. Bei einer gleichmäßigen Stärke $d = 0,28$ m wird nach Gleichung 161, worin $\alpha = 90$ Grad zu setzen ist,

$$G = 3 \left[0,28 + 0,3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0,28 + 0,3 + 6 \cdot \frac{1}{2} \right) \frac{0,28}{3} \right] = \approx 5,75 = N.$$

Unter Benutzung von Gleichung 148 erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 5,75) 5,75} = 0,308 \text{ m}$$

als Näherungswerth, also weit kleiner, als die nach der Regel von *Rondelet* gefundene Stärke am Widerlager. Aber selbst, wenn G auf 7 anwachsen würde, so würde d_1 erst gleich 0,34 m werden.

141.
Mittellinie
des
Druckes.

Wie nun aber auch die Gewölbstärke für ein auszuführendes Gewölbe bestimmt sein mag, immer ist es zur Gewinnung der Ueberzeugung von der Sicherheit und Haltbarkeit desselben anzurathen, durch Construction der Mittellinie des Druckes das Gewölbe auf seine Standfähigkeit einer Prüfung zu unterziehen, um danach, wenn die Belastung des Gewölbes, was meistens der Fall ist, nicht geändert werden darf, entweder die Gewölbstärke oder die Form der Wölblinie je für sich allein oder auch unter besonderen Umständen beide gleichzeitig zu ändern, damit man für die Standfähigkeit des Gewölbes günstige Ergebnisse erziele. Die dazu nöthigen Verfahren werden hier als bekannt vorausgesetzt. Nur auf einen Punkt möge noch die Besprechung geführt werden.

Bei den oben angestellten Untersuchungen ist zur Berechnung des möglichst kleinsten Gewölbschubes H der Angriffspunkt desselben im höchsten Punkt der gedachten Scheitelfuge angenommen, und eben so ist auch der in der Wölblinie gelegene vordere Punkt der Bruchfuge, bezw. der Widerlagsfuge als ein Angriffspunkt der Mittelkraft, welche aus dem Gewölbschube und aus dem von der gedachten Scheitelfuge bis zur Bruchfuge entstehenden Gesammtgewicht des Gewölbkörpers entspringt, angesehen, so daß diese beiden Punkte als Punkte auftreten würden, welche einer mit dem Gewölbschube H gezeichneten Mittellinie des Druckes angehören. Bei dieser Annahme würde ein Druck von endlicher Größe auf eine Linie, also auf eine Fläche von unendlich kleiner Größe kommen, d. h. der Druck für eine Flächeneinheit würde an den angenommenen Angriffstellen einen unendlich großen Werth annehmen, welchem kein Material Widerstand leisten kann, da dasselbe nicht absolut starr, sondern in gewissem Grade preßbar ist. Die Folge von der

Preßbarkeit oder der Elasticität des Wölbmaterials ist, daß die Angriffspunkte der bezeichneten Kräfte sich von den äußersten Kantenpunkten zurückziehen und mehr nach dem Inneren der Gewölbfläche verlegen. Wie weit dieses Zurückziehen eintritt, ist mit Bestimmtheit nicht zu fagen; daß dasselbe aber in mehr oder weniger hohem Grade der Fall ist, zeigen viele ausgeführte, als vollständig stabil geltende Gewölbe, namentlich Halbkreisgewölbe und gedrückte Tonnengewölbe nach der Ausrüstung an den sog. gefährlichen Stellen in der Nähe des Scheitels, der Bruchfuge und der Widerlagsfuge, indem in der Nähe des Scheitels in den Fugen an der Stirn nach unten zu leichte Haarisse wahrzunehmen sind, während in der Nähe der Kanten oben am Rücken des Gewölbes die Steine sich scharf an einander pressen. Eben solche Erscheinungen treten an den Bruchfugen ein, wobei die Steine vorn an der Fugenkante in der inneren Wölblinie sich scharf pressen und in den Fugen jene Haarisse in der Nähe der Rückenlinie sich bilden, während an den Widerlagsfugen, je nachdem der durch die Mittellinie des Druckes, welche für den möglichst kleinsten Gewölbschub ermittelt ist, gefundene Pressungspunkt der inneren oder der äußeren Wölblinie am nächsten liegt, die Pressungen zwischen den Steinen in der nächst gelegenen Wölblinie, die Haarisse in den Fugen nach der entgegengesetzten Richtung sich kund geben. Hiernach lehrt diese Erfahrung, daß bei den meisten als Wölbmaterial benutzten Steinen im Ganzen die Mittellinie des Druckes an jenen bezeichneten Stellen sich doch nur in mäßiger Größe von den Kanten der Wölbsteine zurückzieht.

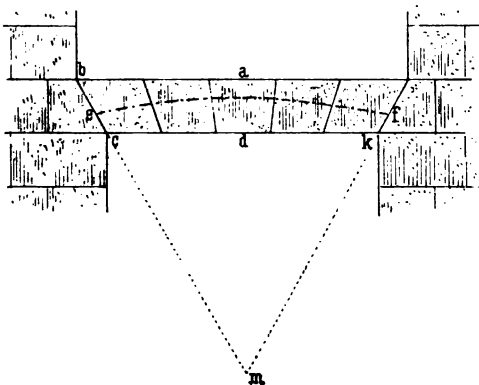
Scheffler sagt ¹⁶⁴⁾, daß es für die Ausführung der Gewölbe hinreichende Sicherheit gewähren möchte, wenn von der Voraussetzung ausgegangen wird, daß die Mittellinie des Druckes bis auf den vierten Theil der Gewölbstärke in den vorhin gekennzeichneten Fugen zurückgedrängt werden könne und wenn ferner die Wölblinie, so wie die Stärke des Gewölbes so genommen werden, daß nach Abzug eines inneren und eines äußeren Streifens, von denen jeder den vierten Theil der Gewölbstärke zur Breite hat, der verbleibende innere Gewölbstreifen, welcher noch eine Breite gleich der halben Gewölbstärke behält, nach den Gesetzen für die Mittellinie des Druckes mit dem möglichst kleinsten Gewölbschube, welcher für diesen inneren Streifen nebst der auf denselben kommenden Gesamtbelastung eintritt, auf seine Stabilität untersucht wird, wobei je nach den bei dieser Untersuchung sich ergebenden Resultaten noch durch etwaige Aenderung der Form der Wölblinie, der Gewölbstärke oder gleichzeitige Aenderung beider Stücke zweckmäßige Vorkehrungen für die Stabilität des Gewölbes getroffen werden können.

Von Vielen wird verlangt, daß ein Gewölbe eine solche Form der Wölblinie und eine solche Stärke erhalten soll, daß eine Mittellinie des Druckes in die Gewölbfläche eingezeichnet werden kann, welche an jeder Stelle mindestens um ein

Drittel der Gewölbstärke von den betreffenden Kanten der Steine zurückbleibt ¹⁶⁵⁾. Ob aber in Wirklichkeit die nach diesen Annahmen gezeichnete Mittellinie des Druckes auch nach der Ausführung und Ausrüstung sonst stabiler und nicht mit unnöthiger Stärke versehener Gewölbe eine solche Lage beibehält, ist in hohem Grade ungewiß und unter Umständen unmöglich.

Betrachtet man z. B. ein scheinrechtes Gewölbe (Fig. 304), welches als unbelasteter Sturz für eine Oeffnung von nur 1,5 m Weite aus Quadermaterial in einer Scheitelfstärke von 0,8 m ausgeführt und wobei $cm = ck$ genommen ist, so bekundet die Unter-

Fig. 304.



¹⁶⁴⁾ In seiner »Theorie der Gewölbe« etc. Braunschweig 1857. S. 69.

¹⁶⁵⁾ Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte dieses »Handbuches«, Art. 479, S. 448 (2. Aufl.: Art. 272, S. 257).

fuchung dieses Sturzes seine Stabilität. Für denselben ist auch eine Mittellinie des Druckes ef im inneren Drittel möglich.

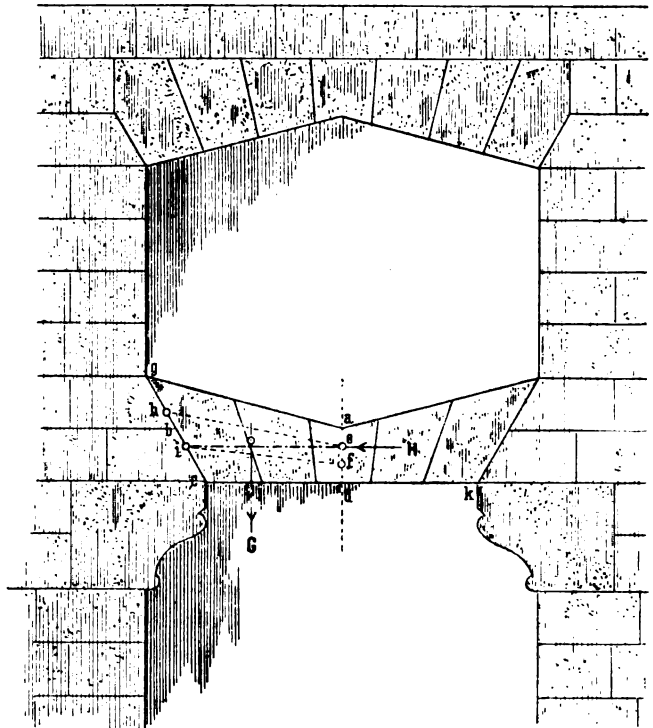
Benutzt man einen solchen Sturz nach Fig. 305 als unteren Abschluss einer Lichtöffnung in der Weise, daß jetzt, unter Beibehaltung der Scheitelfärke $ad = 0,3 \text{ m}$, die Stärke ceg am Widerlager gleich dem Doppelten von der früheren Stärke cb würde, und wären in der gedachten Scheitelfuge ad die Strecken $ae = ef = fd = \frac{ad}{3}$ und eben so die Strecken $gh = hi = ic = \frac{gc}{3}$,

wobei hier absichtlich bei g die sonst nicht günstige Schneide am Kämpfersteine gelassen ist, so würde, wenn die Mittellinie des Druckes im inneren Drittel $efih$ bleiben sollte, diese Linie eine wagrechte gerade Linie ei sein, welcher ein unendlich großer Gewölbschub und demnach eine unendlich große Scheitelfärke zukommen würde, was vollständig ungereimt ist. Die in Wirklichkeit auftretende Mittellinie des Druckes wird sich den Kanten in a und c nähern und das innere Drittel verlassen müssen, da H einen endlichen Werth und im vorliegenden Falle sogar einen solchen von ziemlich geringer Größe annehmen muß.

Verfuche mit Modellen von unbelasteten Halbkreisgewölben bekunden gleichfalls eine nahezu an den Kanten der sog. gefährlichen Stellen des Gewölbes eintretende Lage der Mittellinie des Druckes. Bei der mittels des möglichst kleinsten Gewölbschubes gezeichneten derartigen Linie ergibt sich, wie schon in Art. 136 (S. 182) angeführt, daß bei einem solchen Gewölbe mit gleicher Dicke die Stärke eine Abmessung von $\frac{1}{17,544}$ der Spannweite haben muß, wenn das Gewölbe eben noch im Gleichgewichtszustande sein soll. Hiernach angestellte Verfuche zeigen dasselbe Ergebniss. Sollte nun eine Mittellinie des Druckes bei einem unbelasteten Halbkreisgewölbe im inneren Drittel liegen, so müßte das Gewölbe eine Dicke von etwa $\frac{1}{5,85}$ der Spannweite desselben besitzen, also bei $5,85 \text{ m}$ Spannweite 1 m stark werden, ein Ergebniss, welches den bei stabilen Halbkreisgewölben in der Praxis gewonnenen Erfahrungen vollständig widerspricht und demnach als gänzlich unzulässig gelten muß.

Wie in gegebenen Fällen und unter besonderen Umständen die Annahme für die Lage einer möglichen Mittellinie gemacht werden kann, welche gewissen Bedingungen entspricht, ist in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 444 ¹⁶⁶) dieses »Handbuches« näher erörtert, und es wird hierauf verwiesen; die Bemerkung möge jedoch noch gemacht werden, daß, wenn für Gewölbebauten im Hochbau-

Fig. 305.



¹⁶⁶) 2. Aufl.: Art. 265, S. 250.

wesen nur sehr preisbares Material, welches allerdings bei der Ausführung von einigermaßen größeren und belasteten Deckengewölben, wenn irgend thunlich, nicht benutzt werden sollte, zur Anwendung gelangt, die Gewölblinie und die Gewölbstärke zweckmäfsig so bestimmt werden, dafs eine Mittellinie des Druckes möglich wird, welche mit der Mittellinie der Stirnfläche des Gewölbes, also mit der Axe dieser Fläche sich ganz oder nahezu deckt. Eine solche Mittellinie des Druckes besitzt jedoch sehr grofse Aehnlichkeit mit einer Parabel, deren Axe mit der Scheitel-Lothrechten des Gewölbes zusammenfällt, so dafs auch in einem solchen Falle die Parabel als Bogenlinie vortheilhaft auftritt.

Verhältnifsmäfsig einfach ist die Bestimmung der Stärke der Widerlager der Gewölbe. Sobald der auf die Widerlagsfuge (Kämpferfuge) kommende Kämpferdruck auf Grund der für die Gewölbstärke gegebenen Erörterungen und durch die statischen Untersuchungen des eigentlichen Gewölbkörpers bekannt geworden ist, so ist dieser Druck mit dem Gewichte des Widerlagskörpers, dessen Tiefe wiederum rechtwinkelig zur Bildfläche gemessen, wie es beim Gewölbe der Fall war, gleich der Längeneinheit genommen wird, zusammenzusetzen, um eine Mittelkraft zu bestimmen, welche die Aufst.- oder Fußfläche der Widerlagsmauer in einem Punkte schneidet, welcher von der äußeren Seitenkante noch einen genügend grofsen Abstand besitzt. Dieser Abstand, von der als Drehkante des Widerlagskörpers auftretenden Begrenzungslinie der Grundfläche aus gemessen, liegt in der Kräfteebene und beträgt zweckmäfsig $\frac{1}{3}$ der Widerlagsstärke d .

142.
Widerlags-
stärke.

Um für den Gewölbeschub H bei der Ermittlung der Widerlagerstärke einen Werth zu erhalten, welcher thunlichst vortheilhaft noch gleichsam mit einem Sicherheits-Coefficienten behaftet ist, nimmt man an, dafs H nicht im höchsten Punkte, sondern im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und dafs der Mittelpunkt der Kämpferfuge der Angriffspunkt des Kämpferdruckes ist, hervorgegangen aus H und dem Gewichte G des Gewölbes mit seiner Belastung.

Da die Stärke des Widerlagers noch unbekannt, die Höhe desselben aber in den meisten Fällen vorgeschrieben ist, so hat man zunächst eine Widerlagsstärke zu wählen und darauf die Stabilitätsuntersuchung des als Widerlager auftretenden Stützkörpers entweder durch Rechnung oder oft einfacher und durchsichtiger auf graphischem Wege vorzunehmen. Bei dem zuletzt genannten Wege wird eine Mittellinie des Druckes auch im Querschnitte des Widerlagers eingezeichnet und diese läfst erkennen, ob dieselbe bei der gewählten Stärke für jede Fuge im Widerlager bei der rechteckig gedachten Fugenfläche den bezeichneten äußeren Abstand $\frac{1}{3}$ der Stärke, von der Drehkante aus gemessen, überschreitet oder denselben entsprechend innehält. Nach diesen Prüfungen sind, wenn erforderlich, etwaige Veränderungen in den Stärkeabmessungen des Widerlagers vorzunehmen.

In welcher Weise die Stabilitätsuntersuchung eines Tonnengewölbes und seines Widerlagers unter Benutzung der Verfahren der graphischen Statik vorgenommen werden kann, möge an einem Beispiele gezeigt werden.

143.
Beispiel.

Ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe, dessen Spannweite, gegebenen Gebäudeaxen entsprechend, 6 m betragen mufs, hat von der festen Baufohle ab nach außen frei stehende Widerlager, deren Höhe mit der Oberkante des Fußbodens über dem Gewölbe in wagrechter Ebene abgegrenzt ist. Ueber dem Gewölbe ist ein leichter Schuppen vorhanden, welcher nur in den Binderfüfsen das Widerlager belastet. Auf dem Gewölbe lagert durchgängig und gleichförmig vertheilt als Brennstoff zu verwendende Coke

in einer Schütthöhe von 1,50 m. Das Gewölbe ist in den Zwickeln ausgemauert, sonst mit Sandschüttung und Fußbodenpflaster versehen, so daß die Oberfläche des letzteren 0,30 m über dem höchsten Rückpunkte des Gewölbes liegt.

Für die Ausführung des Gewölbes und der Widerlager ist Backsteinmaterial bestimmt.

Da das Eigengewicht der Coke gleich 0,42 und jenes des Backsteinmauerwerkes gleich 1,6 ist, so beträgt das Gewicht der geschütteten Coke 420 kg für 1 cbm, dasjenige des Backsteinmauerwerkes 1600 kg für 1 cbm.

Um für die Stärke, welche dem Gewölbe gegeben werden muß, einen Anhalt zu gewinnen, sind die Gleichungen 160 u. 145 zu benutzen, nachdem die Gewölbebelastung durch das gleich große Gewicht von Backsteinmauerwerk ersetzt gedacht ist. Da für die Ausmauerung der Gewölbzwickel, für die Bettung des Fußbodenpflasters und für das letztere selbst das Eigengewicht nahezu gleich demjenigen des Backsteinmauerwerkes angenommen werden kann, so ergibt sich für diese Theile zunächst eine Belastungshöhe von 0,30 m über dem Gewölbrücken im Scheitelloth und hierdurch eine erste wagrechte Belastungslinie.

Die Cokeschüttung ist in 1,5 m Höhe wagrecht abgeglichen, und es kann bei der vorläufigen Rechnung von den Seitenböschungen dieser Schüttung abgesehen, also die Schütthöhe für den ganzen Querschnitt des Gewölbes beibehalten werden. Der Abstand x der zugehörigen Belastungslinie, entsprechend dem Backsteinmaterial, von der fest gelegten ersten Belastungslinie ergibt sich offenbar durch den Ausdruck

$$1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 420 = 1 \cdot 1 \cdot x \cdot 1600$$

als

$$x = \frac{1,5 \cdot 420}{1600} = 0,394 \text{ m},$$

wofür $x = 0,4 \text{ m}$ gesetzt werden soll. Somit entsteht eine gesammte Belastungshöhe

$$h = 0,3 + 0,4 = 0,7 \text{ m}$$

und demnach weiter, wenn die Gewölbstärke $d = d_1$ vorläufig zu 0,38 m gewählt, wenn ferner die wagrechte Aufmauerung des Widerlagers bis zum Bruchwinkel α von 60 Grad ausgeführt wird, beim Halbmesser $r = 3 \text{ m}$, sofort nach Gleichung 160

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6 \left(0,38 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \right)} \left\{ 9 \left[3 (0,38 + 0,7) + 3 \cdot \frac{1}{4} \right] - 3 \left(0,38 + 0,7 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0,38^2 \right) \right\} = 1,97$$

und folglich nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 1,97) 1,97} = \frac{18,727}{50} = 0,3745 \text{ m}.$$

Hiernach ist d zu 0,38 m fest zu setzen.

Für die Berechnung der Stärke d_1 der Widerlagsfuge ergibt sich vorweg nach Gleichung 161

$$G = 3 \cdot 0,866 \left[0,38 + 0,7 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0,38 + 0,7 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \right) \frac{0,38}{3} \right] = 4,88,$$

sodann nach Gleichung 153

$$N = 1,97 \cdot 0,5 + 4,88 \cdot 0,866 = 5,2$$

und endlich nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 5,2) 5,2} = \frac{52,7}{150} = 0,35 \text{ m},$$

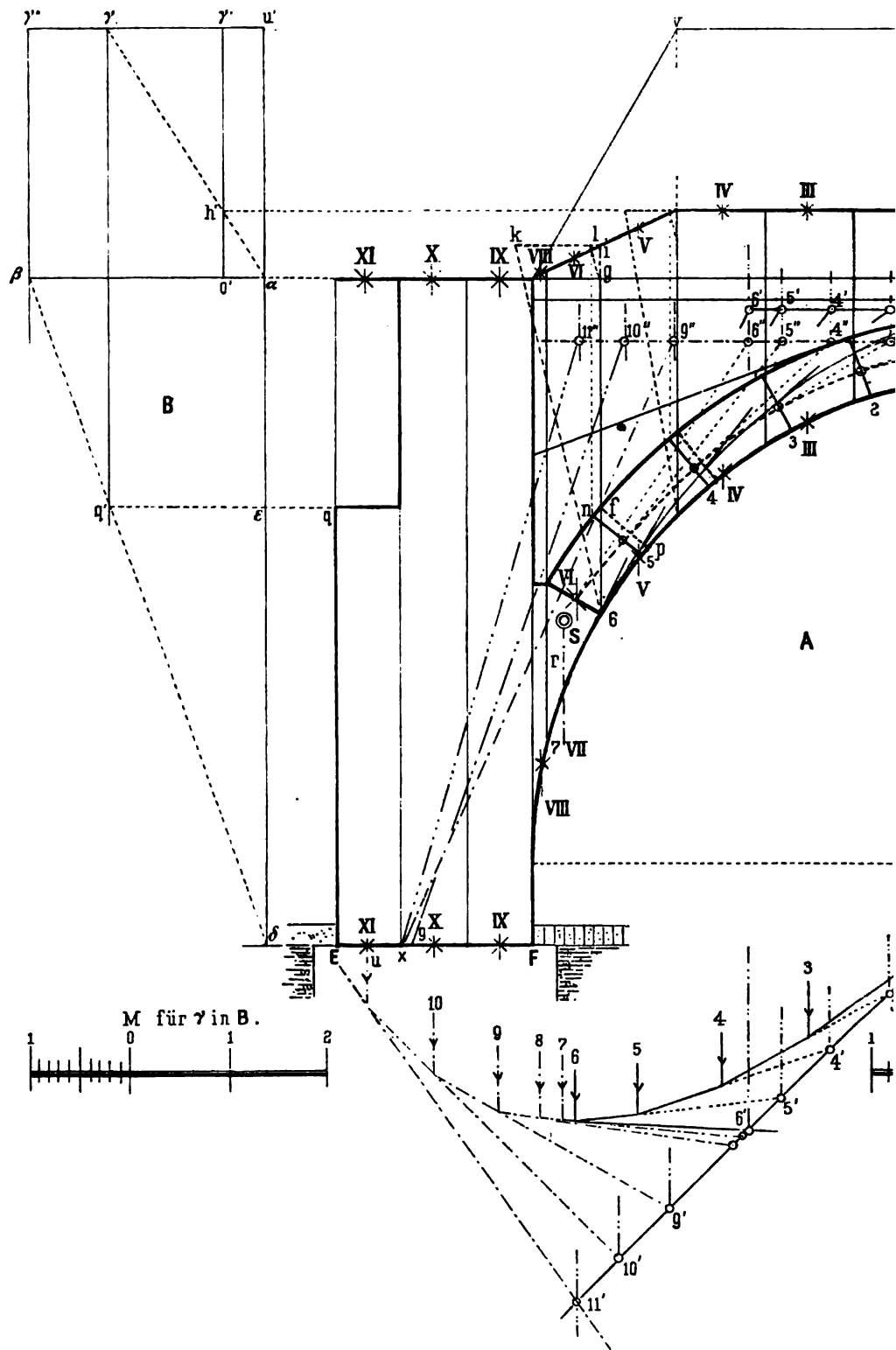
also kleiner als d , so daß $d_1 = d$ angenommen und das Gewölbe in gleicher Stärke ausgeführt werden kann.

Die Stärke des Gewölbe-Widerlagers soll einstweilen noch unbestimmt bleiben.

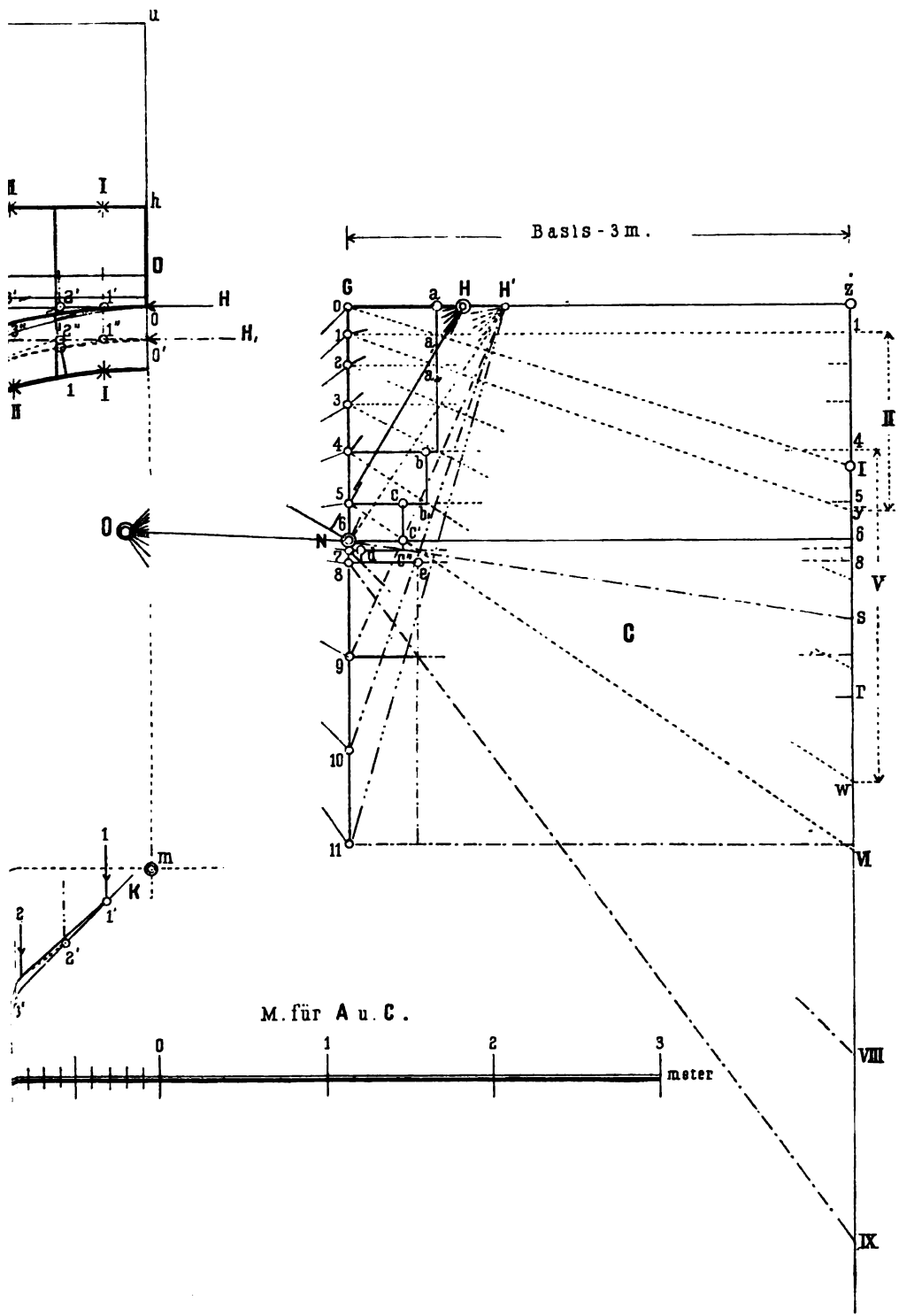
Nach diesen vorläufigen Ermittlungen ist auf der neben stehenden Tafel im Plane A das Gewölbe sammt seiner Belastung unter der Annahme aufgetragen, daß die Gewölbtiefe senkrecht zur Bildfläche gleich der Längeneinheit sei und daß auf der Widerlagsmauer für diese Tiefe keine weitere Last der Construction des über dem Gewölbe befindlichen Schuppens ruhe.

Die Verwandlung der Cokeschüttung in Backsteinmauerung ist unter Berücksichtigung der Böschung dieser Schüttung im Plane B durch Zeichnung vorgenommen.

Ist allgemein γ das Eigengewicht des Wölbmaterials W , γ_1 das Eigengewicht des Belastungsmaterials S , so besitzt ein Körper des Materials S , dessen Grundfläche 1 qm, dessen Höhe h Met. beträgt, ein Gewicht $G_1 = 1 \cdot h \cdot \gamma_1 \cdot 1000 \text{ kg}$ und ein Körper des Materials W bei einer Grundfläche von 1 qm und einer Höhe x Met. ein Gewicht $G = 1 \cdot x \cdot \gamma \cdot 1000 \text{ kg}$.



Stabilitäts-Untersuchung eines symmetrischen



☞ Tonnengewölbes und feines Widerlagers.

Soll nun G gleich G_1 werden, so folgt

$$\begin{aligned} d. h. \quad x\gamma &= h\gamma_1, \\ \frac{x}{h} &= \frac{\gamma_1}{\gamma}, \end{aligned}$$

wonach x als die sog. reducirte oder ersetzte Belastungshöhe leicht zu construiren ist.

Nimmt man im Plane B die Länge $u_1\gamma$ nach einem beliebigen Maßstabe gleich der Maßzahl γ , hier gleich 1,8, und eben so $u_1\gamma_1$ nach demselben Maßstabe gleich der Maßzahl γ_1 , hier gleich 0,42, so wird, sobald auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege $u_1\alpha$ gleich der Schütthöhe $D\alpha$ des Planes A abgetragen und die gerade Linie $\alpha\gamma$ gezogen ist, in der Länge o_1h_1 der durch γ_1 zu $u_1\alpha$ geführten Parallelen γ_1o_1 die reducirte Belastungshöhe erhalten; denn es ist

$$\frac{o_1h_1}{\alpha u_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma}.$$

Diese reducirte Belastungshöhe ist, da uv wagrecht liegt, bis zu einer durch v im Plane A geführten Lothrechten beizubehalten, während von hier ab bis zur inneren Kante des Widerlagers die Belastungslinie zufolge der Böschung der Cokeschüttung geneigt in gerader Linie abfällt. Ist die obere Begrenzungslinie der gegebenen Belastung von irgend welcher Gestalt, welche verschiedene Höhen bedingt, die nach und nach zu reduciren sind, so bleibt für jede einzelne Höhe das angegebene Verfahren dasselbe. Die Verbindung der Endpunkte der reducirten Höhen liefert die gesuchte Belastungslinie.

Die Fläche des Gewölbquerschnittes nebst der reducirten Belastungsfläche, wobei die Zwickelmauerung und der Fußbodenbelag mit Bettung einer weiteren Reduction, wie vorhin angegeben, nicht bedurften, ist vermöge der vom Scheitellothe aus symmetrisch auftretenden Form und Belastung des Gewölbes nur zur Hälfte dargestellt. Durch lothrechte Theillinien ist dieselbe in Einzelstreifen oder Lamellen zerlegt, wobei eine Theillinie mit der durch v ziehenden Lothrechten zusammenfallend angenommen ist. Links von derselben sind noch 3 Lamellen von verschiedener Breite eingefügt, von denen die eine mittlere durch Lothrechte begrenzt wird, welche durch die Grenzpunkte der Widerlagsfuge geführt sind, eine Anordnung, welche in den meisten Fällen für diese Fuge zweckmäßig ist. Rechts von der durch v laufenden Theillinie sind bis zum Scheitellothe hm noch beliebig viele Lamellen, hier vier derselben, von gleicher Breite genommen.

Die von den Theillinien begrenzten Theilstreifen können in ihren Flächen, da im Allgemeinen verhältnißmäßig schmale Stücke in der Zeichnung auftreten, für die praktische Untersuchung mit genügender Genauigkeit als Rechtecksflächen behandelt werden. Vielfach, und namentlich bei flachen Bogen, können auch die Strecken dieser Theillinien, welche innerhalb der Gewölbfläche liegen und hier von der inneren Wölklinie und der Rückenlinie abgeschnitten erscheinen, schon als Fugenlinien in so fern gelten, als in denselben die der Mittellinie des Druckes zukommenden Punkte in der Gewölbfläche aufgesucht werden. Bei den im Hochbauwesen auftretenden Tonnengewölben jedoch oder auch bei den Flachbogen- gewölben selbst, welche ab und an nur eine geringe oder fast gar keine Ueberlast aufzunehmen haben, ist diese Behandlung der Abschnitte der Theillinien als Stücke, in welchen die Punkte der zu zeichnenden Mittellinie des Druckes aufgesucht werden, weniger angezeigt. Eben so ist es in den erwähnten Fällen auch nicht ganz rathsam, die Fugen, in welchen die Punkte der Drucklinie ermittelt werden sollen, geradezu von den Schnittpunkten der Theillinien mit der Rückenlinie, z. B. als Fuge fp , auslaufen zu lassen, zumal mit Leichtigkeit in jedem Falle eine Gewölbfrage ermittelt werden kann, welche von der auf ihr ruhenden Belastung in möglichst richtiger Weise getroffen und in welcher dann ebenfalls in möglichst zutreffendem Grade der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes zu bestimmen ist.

Sollte z. B. (Fig. 306) eine Fuge kl für eine beliebige Theillinie fe so gefunden werden, daß die Gewölbfläche mit der Belastungsfläche von der Größe $bafce$ das auf diese Fuge kl kommende Gewicht möglichst genau wiedergiebt, so kann die folgende Ueberlegung Platz greifen. Es sei kl die richtige Fuge. Alsdann ruht auf derselben ein Gewicht entsprechend der Fläche $apklb$. Diese Fläche müßte der bei der Bestimmung der Mittellinie des Druckes in Rechnung oder hier im Sinne der graphischen Statik in Behandlung genommenen Fläche $bafce$ gleich sein. Damit dies der Fall ist, müßte die Fläche leg gleich Fläche $qfph$ sein. Dann würde auch Fläche $leg + Fläche eqkn = Fläche qfph + Fläche eqkn$ sein müssen, oder was dasselbe ist, das als rechtwinkelige Dreiecksfläche anzusehende Stück lnk würde gleich sein müssen dem als schmalen Parallelogramm zu behandelnden Streifen $efpn$, welcher auch genügend genau als Rechtecksfläche von der Breite fi gelten darf. Danach ist

$$\frac{n l \cdot kl}{2} = ef \cdot fi;$$

mithin auch

$$\frac{fi}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2} kl}$$

Hierin ist kl die normale Dicke des Gewölbes in l , aber streng genommen, wie auch nl noch unbekannt. Zieht man jedoch durch den Schnittpunkt c der Theillinie ef mit der Rückenlinie des Gewölbes eine Hilfsfuge cd , so ist ohne nennenswerthe Abweichung auch $cd = kl$ und $ed = nl$ zu nehmen, so daß nun weiter

$$\frac{ed}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2} cd}$$

wird. Nach diesem Ausdrucke läßt sich fi und dann die Lage der Fuge kl , welche der Theillinie ef zugehört, einfach durch Zeichnung ermitteln. Zieht man durch den gemeinschaftlichen Punkt f der Theil-

Fig. 306.

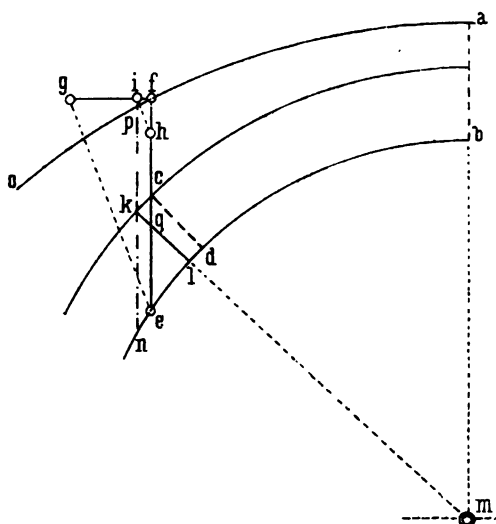
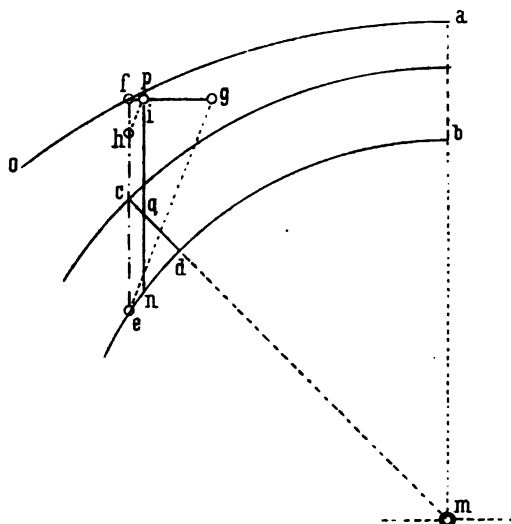


Fig. 307.



linie ef und der Belastungslinie die Gerade fg von der Länge gleich ed , trägt man auf der Theillinie ef die Strecke $fh = \frac{1}{2} cd$ ab, zieht man eg und hierzu durch h die Parallele hi , so wird fi die gesuchte Breite des vorhin erwähnten Streifens $efpn$. Zieht man zuletzt durch i die Parallele in zu ef , so trifft dieselbe den Gewölbrücken im Punkte k , durch welchen die gesuchte Fuge kl normal zur inneren Wölb-
linie zu führen ist.

Ist umgekehrt eine Fuge cd (Fig. 307) gegeben, so wird auf Grund der gegebenen Ausführungen zunächst durch den Punkt c eine lothrechte Hilfstheillinie ef gelegt, $fg = cd$ und $fh = \frac{1}{2} cd$ abgetragen, nunmehr eg und die hierzu parallele Linie hi gezogen, um zuletzt in der durch i geführten Loth-
rechten pn die gesuchte Theillinie zu erhalten. Nach diesen Angaben sind auf der umstehenden Tafel im Plane A die Fugen 1 bis 5 des Gewölbes eingetragen.

Zur graphischen Ermittelung der Flächenwerthe der einzelnen im Allgemeinen als Paralleltapeze erscheinenden Theilstreifen sind die mittleren Höhen II , III u. s. f. derselben bestimmt, und hierauf ist die Verwandlung der Theilflächen in Rechtecksflächen mit einer beliebigen Basis oz , hier zu 3 m gewählt, im Plane C vorgenommen.

Diese Verwandlung oder die sog. Reduction der Theilstreifen auf eine bestimmte Basis hat den Zweck, die durch Linien darzustellenden Flächen-, bzw. Gewichtswerthe der Lamellen in einer für die weitere zeichnerische Behandlung geeigneten Länge zu erhalten.

So ist im Plane C auf der lothrechten z -Linie die Strecke zI gleich der mittleren Höhe II des ersten Theilstreifens, dessen Gewicht für die Gewölbfuge 1 in Betracht kommt, abgesetzt; auf der wag-
rechten Linie oz ist die Länge oa gleich der Breite dieses ersten Theilstreifens abgeschnitten, durch a

die Parallele zu zI gelegt und hierauf die Linie oI gezogen, welche auf der Linie a die Strecke aa_1 als reducirte Höhe des ersten Theilstreifens abschneidet.

Die durch a_1 parallel zu oz gezogene Linie liefert auf der Gewichtslinie G die Strecke oI , welche nach dem für die Zeichnung der Pläne A und C benutzten Maßstabe zu messen und mit der Basiszahl, hier 3 m, zu multipliciren ist, um sofort den Flächeninhalt des ersten Theilstreifens in Quadr.-Met., oder auch, da die Gewölbtiefe zu 1 m angenommen war, den körperlichen Inhalt dieses Theilstreifens in Cub.-Met. zu liefern.

Denn mit Bezugnahme auf die Zeichnung ist

$$\frac{aa_1}{oa} = \frac{zI}{oz},$$

d. h.

$$aa_1 \cdot oz = oa \cdot zI$$

oder

$$aa_1 \cdot 3 \text{ qm} = oa \cdot zI \text{ Quadr.-Met.}$$

gleich der Fläche des ersten Streifens.

Die Zeichnung liefert $aa_1 = oI$ zu 0,17 m; daher besitzt der erste Theilstreifen einen Flächeninhalt von $0,17 \cdot 3 = 0,51 \text{ qm}$ und bei der Tiefe von 1 m auch 0,51 cbm.

Da 1 cbm Backsteinmauerwerk 1600 kg wiegt und alle Abmessungen für die in Rechnung zu bringenden Gewölbe- und Belastungsflächen auf Backsteinmauerwerk zurückgeführt sind, so würde der Körper des ersten Theilstreifens ein Gewicht von $0,51 \cdot 1600 = 861 \text{ kg}$ besitzen.

In gleicher Weise ist auch die zweite Lamelle auf die gewählte Basis reducirt; die mittlere Höhe II ist auf der s -Linie nun von I bis $y = II$ abgetragen, der Reductionsstrahl von der G -Linie aus als Iy geführt, und da die Breite der zweiten Lamelle ebenfalls $= oa = Ia_1$ ist, die reducirte Höhe $a_1a_{11} = I_2$ sofort abgeschnitten. Bei der fünften Lamelle ist eine Aenderung der Breite zu bemerken. Für diesen Streifen ist die mittlere Höhe VV von 4 bis w auf der s -Linie abgetragen, die Breite $4b$ auf der wagrechten Linie 44 abgeschnitten und vermittle des Reductionsstrahles $4w$ die reducirte Höhe $b_1b_1 = 45$ bestimmt.

Für die eigentliche Gewölbfläche kommen im Ganzen sechs Theilstreifen in Frage. Die Summe aller zugehörigen reducirten Höhen ist gleich der Strecke ob im Plane C . Die Strecke ob mißt 1,4 m; mithin wird $1,4 \cdot 3 = 4,2 \text{ qm}$ als gesammter Flächeninhalt der Gewölbfläche mit Belastung gefunden.

Bei der vorläufigen Berechnung von G , welche Größe an die Stelle des gesammten Flächeninhaltes zu treten hatte, wurde hierfür ohne Rücksicht auf die Seitenböschung der Schüttung 4,89 qm ermittelt.

Nach dem Festlegen der Gewichte der einzelnen Theilstreifen, welche in den zugehörigen Schwerpunkten derselben angreifen, ist weiter eine Mittellinie des Druckes für das Gewölbe construirt, welche vorweg dem möglichst kleinsten Gewölbschub entspricht. Hierbei ist das folgende Verfahren beobachtet.

Bei der an und für sich geringen Breite der Lamellen kann die trapezartige Fläche derselben ohne wesentlichen Fehler als Rechteck angesehen werden, so daß der Schwerpunkt dieser Flächen in der Mittellinie derselben liegt.

Zeichnet man nun für die in II , III u. f. f. wirkenden Gewichte, bzw. für die Linienstrecken, welche dieselben als oI , I_2 u. f. f. im Plane C darstellen, unterhalb des Planes A ein Hilfs-Seilpolygon mit Benutzung des an sich willkürlich außerhalb der G -Linie gewählten Poles O , so erhält man auf dem äußersten Seilstrahle K in z' einen Punkt, durch welchen das resultirende Gewicht aus 1 und 2, in $3'$ einen Punkt, durch welchen das resultirende Gewicht aus 1, 2 und 3 u. f. f., im Punkte $6'$ einen Punkt, durch welchen das resultirende Gewicht aller Einzelgewichte von 1 bis 6 in lothrechter Richtung wirken muß.

Für den möglichst kleinsten Gewölbschub H , welcher im vorliegenden Falle wagrecht gerichtet ist, weil das Gewölbe in Bezug auf das Scheitelloth symmetrisch geformt und symmetrisch belastet ist, und welcher bei näherer Untersuchung eine mögliche Mittellinie des Druckes liefert, ist der höchste Punkt o der gedachten Scheitelfuge als Angriffspunkt genommen, während gleichzeitig als Durchgangspunkt der aus dem Schube H und dem Gesamtgewichte G entstehenden resultirenden Pressung der tiefste Punkt der Widerlagsfuge δ angenommen ist. Um die Größe von H unter diesen Annahmen zu ermitteln, ist durch o die wagrechte, durch δ_1 der Linie K die lothrechte Linie geführt, welche sich auf der ersteren im entsprechenden Punkte δ' schneiden. Zieht man im Plane A , von der Vorderkante δ der Widerlagsfuge aus, den Strahl $\delta\delta'$, so ist hiermit die Lage der Mittelkraft aus H und G bestimmt.

Führt man hierauf im Plane C durch den Punkt δ der Linie G die Parallele zu jenem Strahle $\delta\delta'$, so ergibt sich im Abchnitte Ho auf der durch o geführten Wagrechten oz der gefuchte Gewölbschub H . Nach dem Maßstabe bestimmt, ist die Strecke $Ho = 0,67 \text{ m}$, folglich Ho selbst gleich 0,67-mal Basiszahl, also $Ho = 0,67 \cdot 3 = 2,01 \text{ qm}$, bzw. 2,01 cbm.

Setzt man nunmehr II nach und nach mit den auf die einzelnen Fugen des Gewölbes gelangenden

Gewichten zusammen, so erhält man für die Fuge 1 ein Gewicht $1 = \text{Strecke } o1 \text{ im Plane } C$. Der Punkt $1'$ auf der Linie Ho im Plane A entspricht der Richtungslinie des Gewichtes $o1$. Zieht man im Plane C den Strahl $H1$ und hierzu durch den Punkt 1 im Gewölbbplane die Parallele, bis die Fuge 1 getroffen wird, so ist dieser Punkt ein Punkt der Mittellinie des Druckes.

Bis zur Fuge 2 kommen die Gewichtsstrecken $o1 + 12$ in Betracht; das aus beiden resultirende Gewicht wirkt in der Lothrechten $2'2'$; mithin geht die resultirende Pressung, welche im Plane C durch den Strahl $H2$ ausgedrückt wird, durch den Punkt $2'$ der Linie Ho im Plane A . Zieht man also durch diesen Punkt $2'$ die Parallele zu dem bezeichneten Strahle $H2$, bis dieselbe die Fuge 2 trifft, so ist ein zweiter Punkt der Mittellinie des Druckes gefunden. Das hiermit angegebene Verfahren wird in gleicher Weise für alle Fugen beobachtet. Die für Ho erhaltene Mittellinie des Druckes $o6$ verbleibt der Zeichnung zu Folge ganz in der Gewölbfäche, so daß Gleichgewicht gegen Drehung vorhanden ist.

Da die auf die einzelnen Fugen kommenden Pressungen mit den Senkrechten zu den Fugen, je für sich betrachtet, Winkel einschließen, welche weit kleiner bleiben, als der Reibungswinkel des Materials, welcher im Allgemeinen zu 35 Grad, bzw. in besonderen Fällen bei frischem Mörtel zu 27 Grad angenommen werden kann, so ist auch Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden. Die letztere Untersuchung ist in der Zeichnung nicht besonders mitgetheilt, auch für die Ausführung hier weniger von Bedeutung, weil die Gefahr, daß ein Gewölbe in Folge des Gleitens der Wölbsteine nicht standfähig ist, selten vorhanden ist, außerdem aber auch leicht durch entsprechende Anordnung des Fugenschnittes, z. B. senkrecht zur Mittellinie des Druckes, beseitigt werden könnte.

Das untersuchte Gewölbe wird also als stabil gelten, vorausgesetzt, daß für den nun auf graphischem Wege gefundenen Gewölbschub $Ho = 2,01$ die früher durch vorläufige Rechnung für den Gewölbschub $H = 1,97$ erhaltene Gewölbfstärke von $0,38 \text{ m}$ auch zutreffend ist.

Nach Gleichung 145 würde nunmehr

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 2,01) 2,01} = 0,378 \text{ m}$$

oder abgerundet $d = 0,38 \text{ m}$ werden, also mit dem angenommenen Werthe in Uebereinstimmung bleiben. Um den Normaldruck N für die Widerlagsfuge 6 zu erhalten, ist im Plane C durch den Punkt 6 nur die Parallele $6N$ zu dieser Widerlagsfuge zu ziehen und das Loth HN von H auf $6N$ zu fallen. Als dann ist $N = HN \cdot \text{mal Basiszahl}$.

In der Zeichnung ist $HN = 1,56 \text{ m}$; mithin wird $N = 1,56 \cdot 3 = 4,68 \text{ qm}$, bzw. $4,68 \text{ cbm}$. Da früher unter Vernachlässigung der Böschung der Cokeschüttung N zu $5,2 \text{ qm}$, also größer gefunden wurde und für diesen Werth die Stärke d_1 schon unter $0,38 \text{ m}$ blieb, so ist auch nach der neuen Untersuchung d_1 zu $0,38 \text{ m}$, also gleich d beizubehalten.

Da für Backsteingewölbe die Gewölbfstärke im Scheitel nach Steinlängen bestimmt wird, so empfiehlt es sich, nach Gleichung 145, bzw. Gleichung 150 für die verschiedenen derartigen Stärken d die Grenzwerte von H und N zu berechnen. In der folgenden Tabelle sind die zugehörigen Werthe von H und N für d von $\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ Steinstärke zusammengestellt.

d	$\frac{1}{2}$ Stein = 0,12 m	1 Stein = 0,25 m	$1\frac{1}{2}$ Stein = 0,38 m	2 Stein = 0,51 m	$2\frac{1}{2}$ Stein = 0,64 m	
H	0,2	0,87	2,03	3,69	5,88	Quadr.-Met.
N	0,6	2,01	6,09	11,07	17,64	

Aus dieser Tabelle ergibt sich für das untersuchte Gewölbe, welches einem Gewölbschube von $2,01 \text{ qm}$ ausgesetzt ist, daß im Falle einer größeren Belastung für das Gewölbe, wie solche durch die Cokeschüttung gegeben war, der für $0,38 \text{ m}$ Stärke eintretende Grenzwert $2,03$ für H überschritten würde und daß dann die Gewölbfstärke im Scheitel schon zu 2 Steinlängen genommen werden müßte.

Da ein Gewölbe unbedingt stabil ist, wenn für dasselbe eine Mittellinie des Druckes möglich ist oder eintreten kann, welche die Mittelpunkte aller Fugen trifft, so ist im Plane A noch zur weiteren Prüfung des Gewölbes eine Mittellinie des Druckes gezeichnet, wobei der Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge und der Mittelpunkt VI der Widerlagsfuge als Endpunkte dieser neuen Mittellinie des Druckes angenommen sind.

Auf der wagrechten Linie $H_1 o_1$ sind alsdann die den Punkten $1' 2'$ u. f. f. der Linie $H o$, bezw. der Linie K entsprechenden Punkte $1'' 2''$ u. f. f. bis $6''$ fest gelegt. Der Gewölbschub $H' o$, welcher für die Mittellinie des Druckes $o_1 VI$ maßgebend wird, ist bestimmt, sobald im Plane A der Strahl $6'' VI$ und hierzu parallel im Plane C der Strahl $6 H_1$ gezogen wird. Derselbe beträgt $0,88 \cdot 3 = 2,85 \text{ qm}$, ist also um das $\frac{2,85}{2,01}$ -fache oder etwa 1,4-fache größer, als der Gewölbschub $H o$.

Die Construction der Mittellinie des Druckes erfolgt in gleicher Weise, wie früher, nur daß jetzt die durch $1''$ geführte Pressungslinie der Fuge 1 parallel mit $H_1 1$, die durch $2''$ geführte Pressungslinie der Fuge 2 parallel mit $H_1 2$ läuft u. f. f.

Die hiernach gezeichnete Mittellinie des Druckes geht nahezu durch die Fugenmitten, so daß nunmehr die Prüfung der Stabilität des Gewölbes abgeschlossen werden kann.

Zur Auffindung der Stärke des Widerlagers ist vorweg angenommen, daß die Grundfläche desselben in der Ebene EF als fest gilt und daß der Endpunkt x einer im Widerlager von einem Gewölbschube $H_1 o$ abhängigen Mittellinie des Druckes die Widerlagerfuge in einem Abstände $Ex = \frac{1}{3} EF$ von der äußersten durch E gehenden Drehkante trifft. Selbstredend ist die Tiefe des Widerlagers wie beim Gewölbe gleich der Längeneinheit. Die Höhe desselben ist durch die mit D zusammenfallende wagrechte Ebene gegeben.

Bei Ausführung des bis zur Bruchfuge wagrecht vorgemauerten Kämpferstückes ist dieses nebst dem darüber liegenden schmalen Streifen mit zum Widerlager zu rechnen. Ueber 67 im Plane A liegt eine als Dreiecksfläche aufzufassende Theilfläche, deren Schwerpunkt S leicht zu bestimmen, deren Grundlinie gleich r und deren Höhe gleich der Breite des Streifens VI ist, welche im Plane C als $6 c_1$ eingetragen war. Der Flächeninhalt dieses Dreieckes ist also $\frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$. Da diese Fläche auf die gewählte Basis zu reduciren ist, d. h. in ein Rechteck verwandelt werden muß mit der bestimmten Basis os und einer noch unbekannten Höhe η , so muß $\eta \cdot os = \frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$ oder

$$\frac{\eta}{\frac{1}{2} r} = \frac{6 c_1}{os}$$

sein. Trägt man daher die Länge r als Strecke $6r$ auf der s -Linie ab, halbirt dieselbe in s , zieht den Reductionsstrahl $6s$, so wird auf der durch c_1 geführten Lothrechten die Strecke c, c_{11} abgeschnitten und $67 = c, c_{11}$ ergibt das Gewicht der Dreiecks-Lamelle VII . Endlich ist auch noch die Strecke 78 als Gewicht der schmalen Lamelle $VIII$ in der genügend angegebenen Weise bestimmt. Seitlich von der durch F geführten Lothrechten beginnt der Widerlagskörper. Zunächst ist eine Lamelle IX von beliebiger, aber nicht übertriebener Breite angenommen und das Gewicht im Plane C als Strecke 89 ermittelt. Setzt man nun die Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons für die Gewichte $7, 8$ und 9 fort, so wird auf der Linie K der Punkt q' erhalten. Durch q' zieht die Lothrechte, welche der Lage des resultirenden Gewichtes aller Einzelgewichte von o bis 9 der Gewichtslinie G entspricht. Der Schnittpunkt q'' auf der Linie $H_1 o_1$ ist Angriffspunkt der resultirenden Pressung. Zieht man im Plane C den Strahl $H_1 q$, so erhält man dieselbe in diesem Strahle. Führt man im Plane A die Gerade $q'' q$ parallel zu $H_1 q$, so fällt der Punkt q der Richtung jener Pressung über die Grenzlinie der Lamelle hinaus; folglich würde bei der ersten Lamelle noch kein Gleichgewicht gegen Drehen auf der Ebene EF vorhanden sein. Fügt man deshalb noch eine zweite Lamelle X , deren Breite hier gleich der Lamellenbreite von IX genommen ist, dem Widerlager hinzu und verfährt in der angegebenen Weise, so trifft die durch 10_{11} parallel zu $H' 10$ resultirende Pressung die Fuge EF nahezu an der Grenzlinie der Lamelle X , so daß nunmehr beim Gewölbschub $H_1 o$ eben Gleichgewicht gegen Drehung eintreten würde.

Fügt man endlich noch eine oder mehrere Theilstreifen hinzu und stellt dem gegebenen Verfahren gemäß die Schnittpunkte x auf der Fuge EF der zugehörigen resultirenden Pressungen fest, so gelangt man schließlichs dahin, die Lage des Punktes x so zu erhalten, daß $Ex = \frac{1}{3} EF$ wird.

In der Zeichnung trat dieser Fall ein, nachdem noch die dritte Lamelle XI hinzugefügt war, so daß EF die gefuchte Widerlagsstärke ist. Dieselbe beträgt $1,2 \text{ m}$, also bei der Spannweite des Gewölbes von 6 m genau $\frac{1}{5}$ dieser Weite.

Sollte die Außenseite des Widerlagers in der Stärke von durchschnittlich $0,4 \text{ m}$, entsprechend der

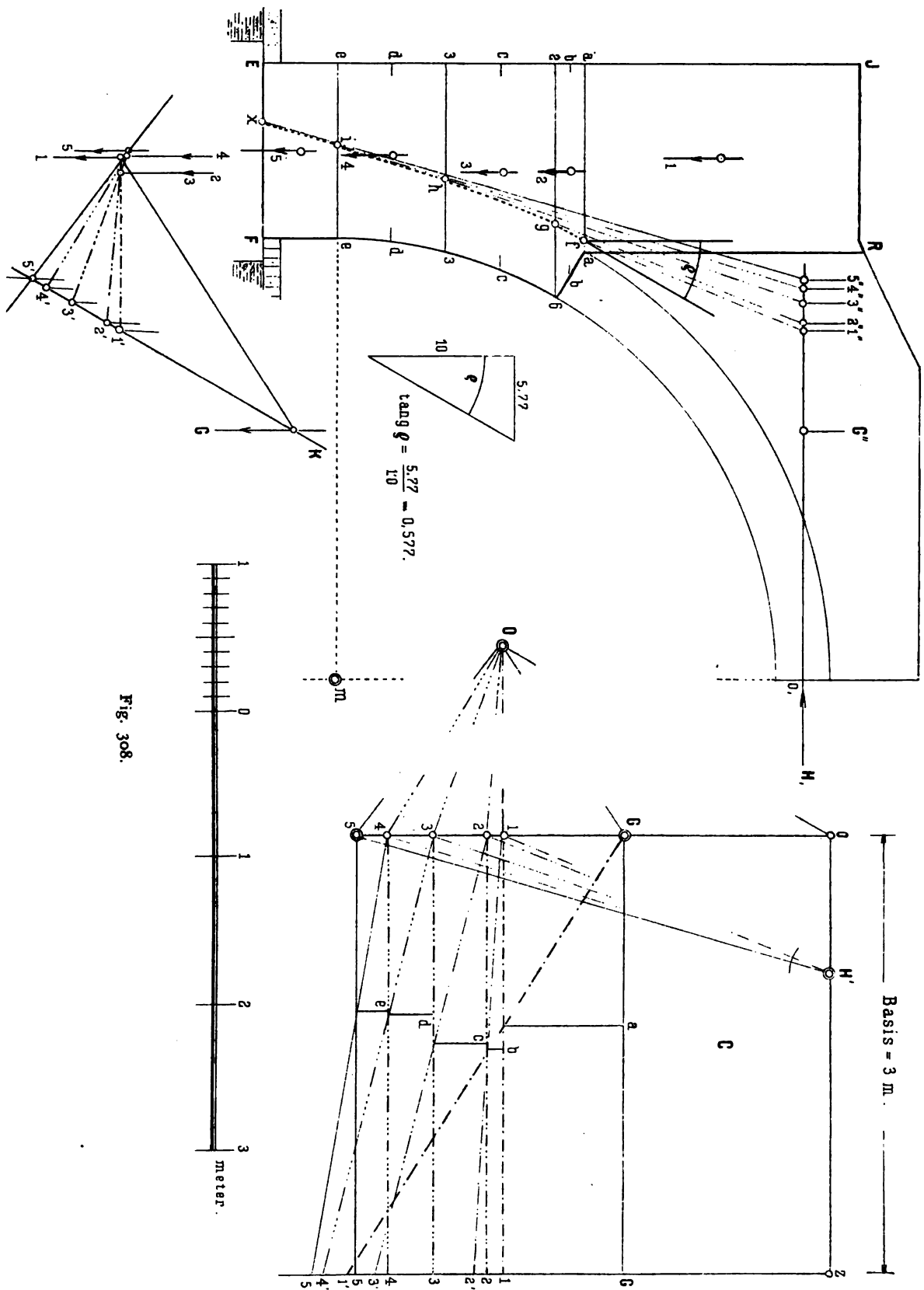


Fig. 308.

Breite des letzten Theilstreifens, aus Sandsteinquadern vom Eigengewichte $\gamma'' = 2,4$ ausgeführt werden, so würde, wenn weder die Größe des Gesamtgewichtes σ bis 11 , noch die Lage des Punktes x verändert werden dürfte, die Höhe Eg dieser Quaderbekleidung mit Hilfe des Planes B sich einfach bestimmen lassen. Hierin ist $\delta\alpha$ die Höhe des vollständig aus Backsteinmauerwerk hergestellten Widerlagers. Trägt man auf der wagrechten Linie $\alpha\beta$ die Strecke $\alpha\beta = 2,4$ ab, zieht man hierauf $\delta\beta$, so schneidet dieser Strahl die lothrechte Linie γ im Punkte q_1 ; die durch q_1 parallel zu $\alpha\beta$ geführte Linie giebt auf der Lothrechten $\delta\alpha'$ den Schnittpunkt s , und man erhält alsdann in δs die gefuchte Höhe Eg der Quaderverkleidung. Das Gewicht dieses Quaderstückes ist gleich dem Gewichte des aus Backsteinmauerwerk bestehend gedachten Theilstreifens XI ; denn es ist bei gleicher Grundfläche der beiden Körper

$$\frac{\delta s}{\delta \alpha} = \frac{\gamma}{\gamma''}, \text{ also } \delta \alpha \gamma = \delta s \gamma'',$$

wie es sein soll. Oberhalb q entstände ein Sockelabfatz von der Breite der Lamelle XI und danach könnte das Backsteinmauerwerk wieder beginnen.

Das Mauerwerk des Widerlagers wird jedoch in den meisten Fällen in wagrechten Schichten ausgeführt, und es entsteht dann die Frage, wie sich bei solcher Anordnung die Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper gestaltet.

In Fig. 308 ist für das bereits seiner Stärke nach ermittelte, aus Backsteinmauerwerk bestehende Widerlager die Mittellinie des Druckes $fghix$ für wagrechte Schichten eingezeichnet. Auf der wagrechten Fuge aa ruht der Körper $aaR\gamma$. Sein Gewicht 1 wirkt in der Schwerlinie 1 . Ferner kommt für diese Fuge das Gewicht G der Gewölbbälfte mit seiner Belastung und der Gewölbschub H_1o in Betracht, welche sofort von der Tafel bei S. 198 entnommen sind, so daß, unter Beibehaltung derselben Verwandlungsbasis $os = 3m$, nun auch oG der Strecke ob , H_1o der Strecke H_1o entsprechend wieder benutzt sind. Die Gewichtsstrecke $G1$ des bezeichneten Theilstückes ist im Plane C in bekannter Weise ermittelt. Nach der Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons mit Benutzung des beliebigen Poles O ergibt sich auf dem Strahle K der Punkt $1'$, durch welchen die Mittelkraft aus oG und $G1$ zieht. Die Zusammensetzung derselben mit dem durch den Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge gerichteten wagrechten Gewölbschube H_1o erfolgt im Punkte $1''$. Der Strahl $1''f$ parallel zu H_11 des Planes C geführt, giebt in f einen Punkt der Mittellinie des Druckes im Widerlager.

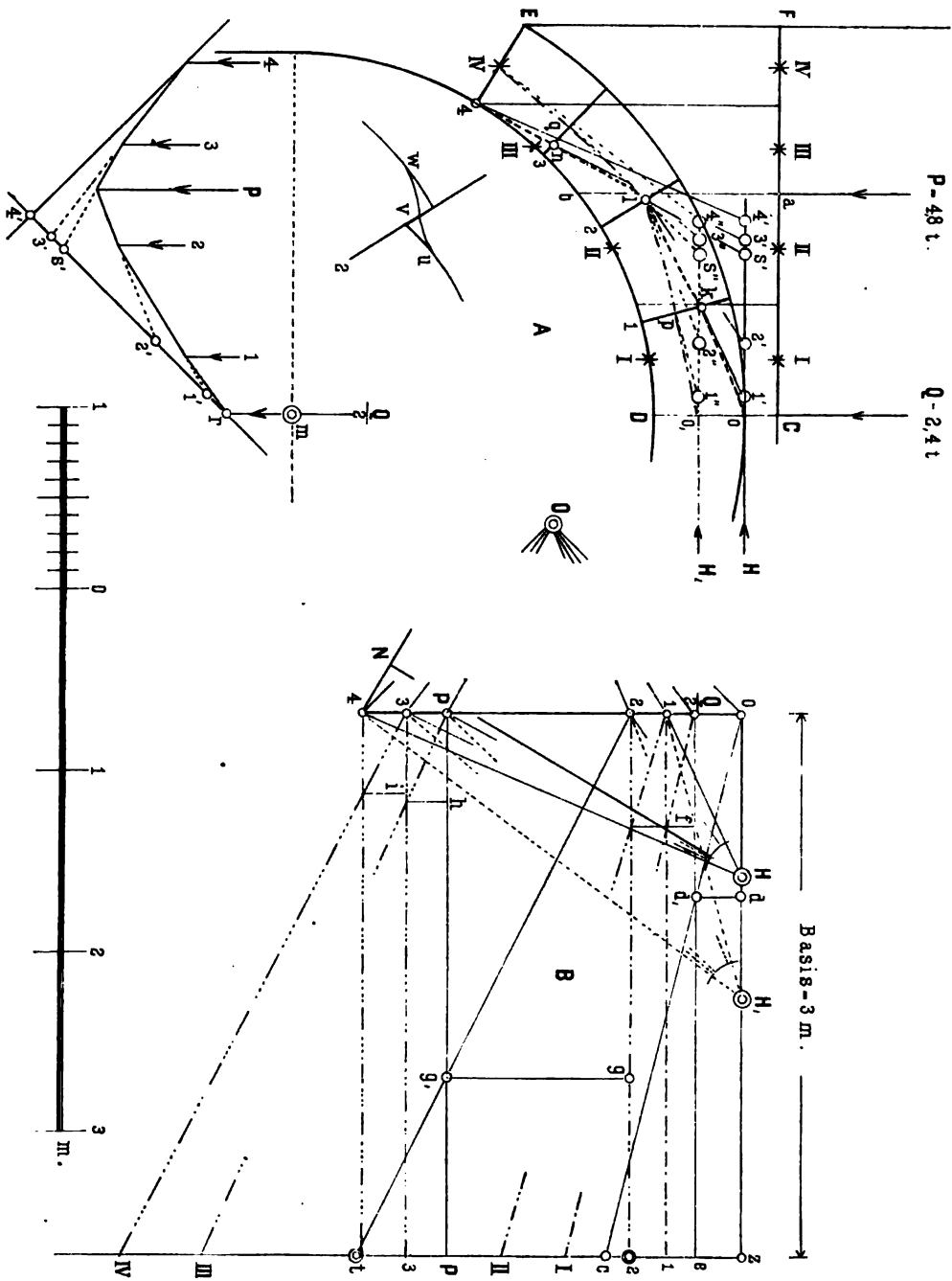
Ueber der Fuge ab gefellt sich dem Gewichte von $aaR\gamma$ noch das Gewicht des Theilstreifens $ab\alpha\alpha$ mit der mittleren Breite bb hinzu. Der Schwerpunkt desselben ist leicht zu bestimmen. Im Plane C ist für die Reduction dieser Breite gemäß $1b = bb$ genommen, $1a'$ auf der Linie 1 gleich der Höhe aa des Streifens abgetragen und durch den Reductionsstrahl $1a'$ die Gewichtsstrecke $bc = 1a$ erhalten. Im Seilpolygon ist die weitere Zusammensetzung der Gewichte $oG, G1$ und $1a$ zu einer durch a' der Linie K gehenden Mittelkraft bewirkt und diese in a'' mit dem Gewölbschube H_1o vereinigt. Die dann sich ergebende resultierende Pressung ist für die Fuge ab gleich und parallel H_1a des Planes C . Zieht man $a'g$ dem entsprechend parallel H_1a , so erhält man in g einen Punkt der Mittellinie des Druckes für die Fuge ab .

Nach diesem Verfahren ist, wie aus der Zeichnung ersichtlich wird, für jede weiter folgende Fuge der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes, welche als Linienzug $fghix$ auftritt, im Widerlager gefunden. Hier sei noch bemerkt, daß die Lage des Punktes x auf der Fuge EF der Grundfläche mit derjenigen auf der Tafel bei S. 198 übereinstimmen, daß ferner die Strecke GJ wieder gleich der Strecke $o11$ jener Figur gefunden werden muß, weil an der Gesamtheit des Querschnittes vom Gewölbe und vom Widerlager keine Aenderung eingetreten ist.

Die gefundene Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Fläche des Widerlagers. Die resultirenden Pressungen für die einzelnen Fugen schließen mit den ihnen zugehörigen Senkrechten einen Winkel ein, welcher, wie bei der Fuge aa für die am stärksten geneigte Pressungslinie $1''f$ gezeigt ist, kleiner bleibt, als der hier zu 30 Grad angenommene Reibungswinkel ρ , wofür $\tan \rho = 0,577$ ist, so daß für das Widerlager sich Gleichgewicht gegen Drehung und gegen Gleiten ergibt.

In besonderen Fällen, wenn z. B. die als Gurthogen auftretenden kürzeren Gewölbe außer einer stetig oder unstetig vertheilten Belastung noch an bestimmten Stellen größere Einzelgewichte als Belastung aufzunehmen haben, ist stets eine sorgfältige Prüfung der Stabilität dieser Gewölbe erforderlich und immer die Ermittlung der Mittellinie des Druckes für das Gewölbe nebst Widerlager angezeigt.

Eine derartige Untersuchung ist in Fig. 309 ausgeführt.



Das aus Backstein auszuführende Gewölbe ist 4 m weit gespannt und trägt aufser der durch CF begrenzten Ueberlast noch im Scheitel eine Einzellaft von $Q = 2,4$ Tonnen, rechts und links von dem Scheitellothe noch je eine Last $P = 4,8$ Tonnen, so dafs dieses Gewölbe symmetrisch geformt und symmetrisch belastet ist. Die Gewölbstärke sei zu 2 Steinfärken $= 0,51$ m angenommen. Die Unterfuchung ist wieder unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit geführt. Da die Einzellaften durch das gleiche Gewicht einer Steinfäule von quadratischer Grundfläche, deren Seitenlänge beliebig genommen werden könnte, hier aber zu 1 m genommen werden soll und einer Höhe x ersetzt werden müssen, so erhält man, da 1 cbm Backsteinmauerwerk 1600 kg $= 1,6$ t wiegt, für die Last Q sofort

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 2,4, \text{ also } x = 1,5 \text{ m}$$

und für die Last P danach

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 4,8, \text{ d. h. } x = 3 \text{ m.}$$

Die Lage von Q und P darf nicht geändert werden, und aus diesem Grunde wird am zweckmässigsten eine zugehörige Theillinie C , bzw. a durch den Angriffspunkt der Einzellaften gelegt und diesen Theillinien entsprechend auch die zugehörige Gewölbefuge, unter Beibehaltung der Belastungslinie CF der ursprünglichen, stetigen oder unstetigen, hier wagrecht abgegrenzten Belastung, wie früher angegeben, gezogen.

Von der in der gedachten Scheitelfuge Do wirkenden Einzellaft Q kann hier nur die Hälfte, also $\frac{1,5}{2} = 0,75$ m, oder, da die Grundfläche der gedachten Steinfäule 1 m als vordere Seitenlänge besitzen soll, $0,75$ qm, bzw. $0,75$ cbm in Betracht genommen werden, weil der symmetrischen Anordnung halber nur eine Gewölbhälfte zur Unterfuchung zu kommen braucht.

Sind diese Punkte fest gesetzt, so erfolgt das weitere Zerlegen der Gewölbe- und Belastungsfläche $D4EFC$ in beliebig viele, auch beliebig breite Theilstreifen nebst Angabe der ihren Theillinien zukommenden Gewölbefugen, gleichgiltig, ob diese Fugen mit jenen später bei der Ausführung des Gewölbkörpers zusammenfallen werden oder nicht, und hierauf, ganz wie im Vorhergehenden erörtert, auch die Reduction ihrer Flächen auf eine gewählte Basis. Hierbei ist nur zu beachten, dafs auch die Gewichte der Einzellaften in richtiger Reihenfolge vor der antretenden Lamelle eingefügt und gleichzeitig auf jene Basis reducirt werden. So ist das Gewicht $\frac{Q}{2}$ entsprechend $0,75$ qm als erster Bestandtheil in folgender Weise reducirt.

Auf der z -Linie des Planes B ist $zc = 0,75$ m, auf der Linie os dagegen $od = 1$ m abgetragen. Der Reductionsstrahl oc liefert die Gewichtsstrecke dd_1 gleich der Strecke o bis $\frac{Q}{2}$. Hierauf sind die Gewichtsstrecken für die Lamellen I und II von $\frac{Q}{2}$ bis r und von r bis s bestimmt, und sodann ist die Reduction der Einzellaft $P = 3$ qm entsprechend bewirkt.

Statt hierbei eine Länge von 3 m und eine Breite von 1 m zu benutzen, ist, um das Auftragen einer grossen Länge zu vermeiden, welche unter Umständen nicht mehr auf die Zeichenfläche gebracht werden könnte, eine Länge zt auf der z -Linie gleich $\frac{3}{n}$, hier $= \frac{3}{2} = 1,5$ m und auf der Linie sa eine Breite s bis $g = n \cdot 1$ Met., also hier, da $n = 2$ gewählt ist, gleich 2 m abgeschnitten. Der Reductionsstrahl zt liefert nun ebenfalls die richtige Gewichtsstrecke $gg_1 = 2P$ für die Einzellaft P . Endlich sind noch die Theilstreifen III und IV reducirt, und es ist in o bis q im Plane B die gesammte Gewichtsstrecke fest gelegt.

Wie für die Tafel bei S. 198 beschrieben, ist nunmehr die Construction einer Mittellinie des Druckes $oklnq$ für den möglichst kleinsten, in o angreifend genommenen Gewölbschub Ho und ferner eine solche o_1plqVI für einen Gewölbschub H_1o ausgeführt, wobei die Endpunkte dieser Mittellinie des Druckes die Halbirungspunkte der Scheitelfuge Do und der Widerlagsfuge qE bilden. In der Fig. 309 treffen die von z' und S' nach der Fuge s laufenden Richtungen der Pressungen, abgesehen davon, dafs auch die von o_1 ausgehende Mittellinie des Druckes durch diesen Punkt zieht, ganz nahe im Punkte l zusammen.

Dieses Zusammentreffen ist jedoch häufig nicht der Fall. Die Mittellinie des Druckes bleibt aber vermöge der Preisbarkeit des Materials stetig und würde etwa bei der Fuge s den im Plane A unterhalb der Fuge s angegebenen Verlauf uvw nehmen. Für die Unterfuchung des Widerlagers dieses Gewölbes möge auf die Tafel bei S. 198 u. Fig. 308 verwiesen werden.

Noch erübrigt die Prüfung der Gewölbstärke. Der Gewölbschub Ho wird nach der Zeichnung gefunden als $Ho = 0,9 \cdot 3 = 2,7$ qm, während der Normaldruck für die Widerlagsfuge qE

$$HN = 2,95 \cdot 3 = 8,85 \text{ qm}$$

wird. Nach der Tabelle auf S. 202 muß also das Gewölbe durchgängig 2 Stein stark genommen werden, da bei $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke H nur 2,08 qm, N nur 6,09 qm ist. Da die Mittellinie des Druckes für H ganz in der Gewölbfäche verbleibt, auch in den Fugen der Reibungswinkel nicht überschritten wird, so ist das entworfene und unterfuchte Gewölbe stabil.

245.
Empirische
Regeln
für die
Widerlags-
stärke.

Damit für die Widerlagsstärke von vornherein ein ungefährer Werth Berücksichtigung finden kann, benutzt man wohl einige empirische Regeln, und zwar nimmt man bei Tonnengewölben, wobei die Oberkante der Widerlager in einer durch den höchsten Punkt des Gewölbrückens gelegten wagrechten Ebene begrenzt ist, die Stärke der Widerlager:

bei einer Halbkreisbogenlinie zu $\frac{1}{5}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien (Ellipsen, Korbbogen) mit bis $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältniß zu $\frac{1}{4}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien mit weniger als $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältniß zu $\frac{2}{7}$ der Spannweite, und

bei überhöhten Bogenlinien zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ der Spannweite.

Ist dabei aber die Höhe der Widerlager von ihrer Aufstandfläche bis zu der erwähnten Ebene größer als 2,5 m, so werden die angegebenen Abmessungen etwa $1\frac{1}{6}$ bis $1\frac{1}{8}$ -mal so stark genommen.

Die gegebenen Werthe sollen aber nur als Näherungswerthe angesehen werden; sie schliessen also die bezeichnete Stabilitätsuntersuchung des Widerlagskörpers nicht aus.

Bei der Prüfung der Stabilität des Widerlagers durch Rechnung ist im oben gedachten Halbbande (2. Aufl., Art. 277, S. 262) dieses »Handbuches« das Erforderliche gegeben, und es ist mit Bezug auf die in Fig. 310 eingeführten Bezeichnungen der Abstand x des Angriffspunktes E der Mittelkraft aus dem Gewölbschube H , dem Gewichte G des Gewölbes nebst seiner Belastung und dem Gewichte G_1 des Widerlagskörpers von der äußeren Kante am Fusse der Widerlagsmauer berechnet zu

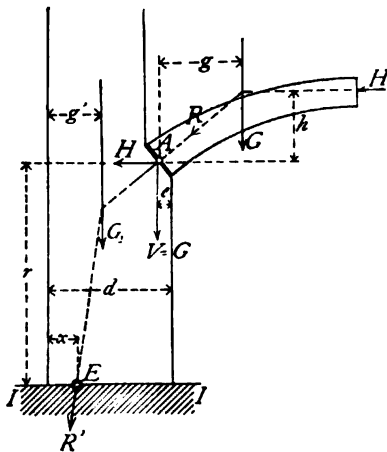
$$x = \frac{G_1 g' + G(d - e) - Hr}{G + G_1}.$$

Ist demnach zuvor die Stärke d gewählt, so läßt sich G_1 als abhängig von d ermitteln und da dann auch bei berechnetem g_1 , H und G , so wie bei den gegebenen Werthen von e und r die GröÙe x zu finden ist, so kann man prüfen, ob die gewählte Stärke d einen Werth für $x = \frac{1}{3} d$ liefert,

oder ob ein neuer Werth von d , welcher nach der ersten Rechnung sich jedoch unschwer angeben läßt, eingeführt werden muß oder nicht.

Eine besondere Betrachtung erfordern noch die sog. einhöftigen Gewölbe. Ein einhöftiges Gewölbe ist, in seinem Stirnschnitte genommen, ein sog. unsymmetrisches Gewölbe, da dasselbe in Bezug auf sein Scheitelpunktsloth zwei von einander verschiedene, nicht congruente Stücke der ganzen Stirnfläche besitzt. Diese beiden

Fig. 310.



246.
Einhöftige
Gewölbe.

Stücke erhalten auch meistens von einander verschiedenen große Belastungen, so daß neben den unsymmetrischen Gewölbabogen noch unsymmetrische Belastung vorhanden ist. Da vielfach außer den eigentlichen einhöftigen Gewölben, welche z. B. zur Unterstützung von Treppenläufen dienen, derartige Gewölbe von geringer Axenlänge als sog. Strebebogen zur Sicherung des Widerlagers anderer Gewölbe, namentlich der gothischen Kreuzgewölbe, benutzt werden, so ist die Stabilitäts-Untersuchung der einhöftigen Gewölbe, bzw. der Strebebogen von Bedeutung. In einigen Punkten weicht, wie aus dem in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 446¹⁶⁷) Gefagten zu entnehmen ist, diese Untersuchung von derjenigen des geraden Tonnengewölbes ab, und es soll deshalb eine graphostatische Stabilitäts-Untersuchung eines einhöftigen Gewölbes gegeben werden.

Als Beispiel ist ein einhöftiges, aus Backsteinmaterial herzustellendes Gewölbe gewählt, welches zum Tragen eines Treppenarmes dient. Dasselbe ist in Fig. 311 dargestellt. Die Wölblinie ist ein um m beschriebener Kreisbogen ab ; die Gewölbstärke ist gleichmäßig zu $0,88\text{ m}$ angenommen. Der Treppenlauf ist eingetragen, und gleichzeitig ist unter Berücksichtigung der zufälligen Belastung und unter Zurückführen des Stufenmaterials und der erwähnten Belastung auf das Eigengewicht des Wölbmaterials die Belastungslinie CD eingezeichnet.

Streng genommen würde diese Linie stufelförmig auftreten, wenn für jede Stufe eine gleichförmig vertheilte Ueberlast für die Flächeneinheit gelten soll. In Rücksicht auf Stöße, welche bei der Benutzung der Treppe eintreten können, ist hier jedoch diese Ueberlast parallel mit der Steigungslinie der Treppe angenommen und hierdurch noch als etwas ungünstiger für das Gewölbe in Betracht gezogen.

Die Belastungsfläche $abCD$ ist in sieben Theilstreifen zerlegt, wovon der Streifen I der schmalere ist, während die Streifen II bis VII eine gleich große Breite aufweisen.

Die Tiefe des Gewölbes ist gleich der Längeneinheit angenommen. Den Theillinien entsprechend sind die Fugenlinien x, z, y u. f. f. in der eigentlichen Gewölbfläche gezogen.

In bekannter Weise (vergl. Art. 143, S. 201) ist zur Ermittlung der Flächen, bzw. der Gewichte der Theile eine Reduction der Flächen derselben auf eine Basis gleich 2 m ausgeführt, so daß im Gewichtsebene die Strecken $o1, 12$ u. f. f. die Größen der zugehörigen Flächen ergeben, sobald die ihnen zukommende Maßzahl mit der Maßzahl 2 der Basis multiplicirt wird. Die Strecke $o7$ mißt $2,8\text{ m}$; folglich besitzt die Belastungsfläche $2,8 \cdot 2 = 5,6\text{ qm}$, und das in Frage kommende Gesamtgewicht des Gewölbekörpers, einschl. der Belastung beträgt, bei der Gewölbetiefe von 1 m und dem Gewicht von 1600 kg , für 1 cbm Backsteinmaterial $5,6 \cdot 1 \cdot 1600 = 8960\text{ kg}$. Dieser Werth entspricht der Mittelkraft R .

Die Einzelgewichte wirken, wie früher schon erörtert, in den Mittellinien ihrer Theilstreifen, welche durch kleine Sterne in der Zeichnung angedeutet sind.

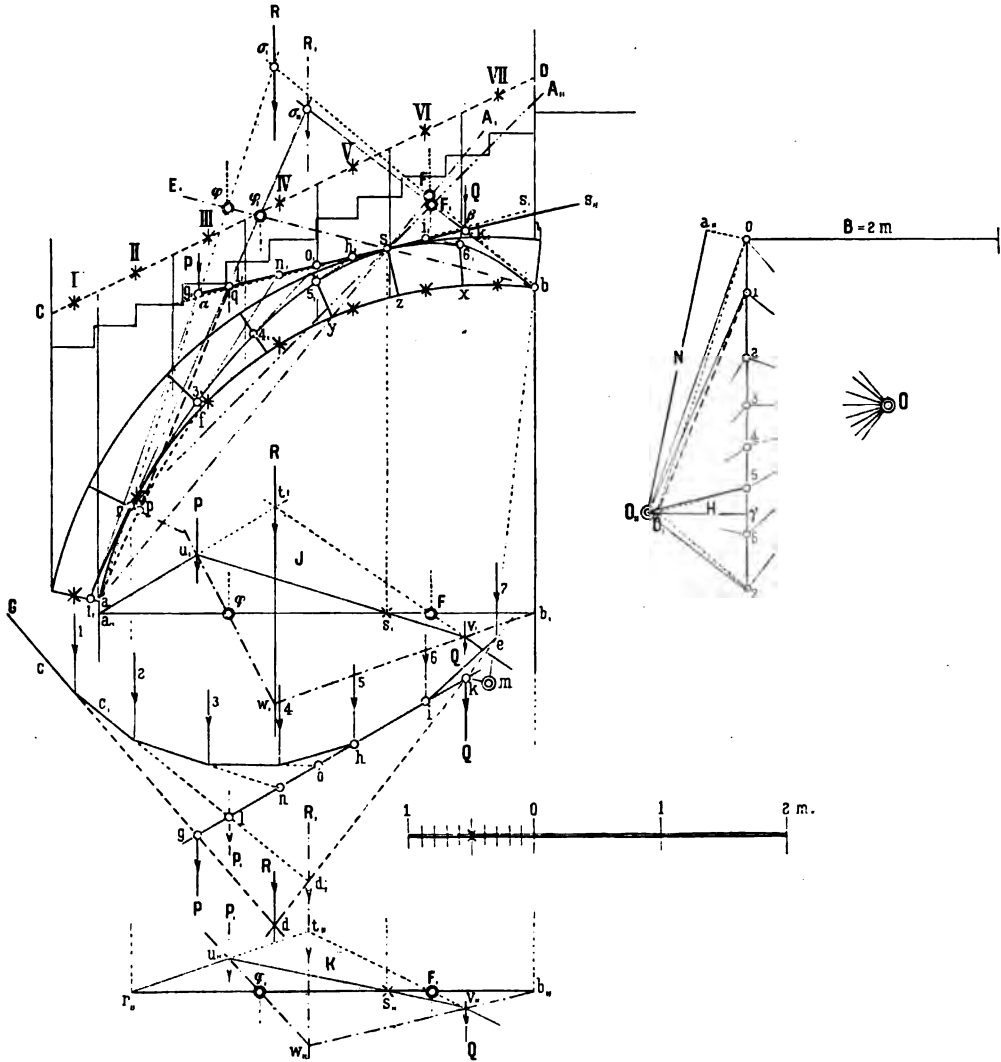
Für die Gewichte ist unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon G gezeichnet. Die lothrecht gerichtete Mittelkraft R geht durch den Schnittpunkt d der äußersten Seilstrahlen cd und ed .

Bei einem unsymmetrisch geformten, bzw. unsymmetrisch belasteten Gewölbe kann bei der Bestimmung der Mittellinie des Druckes von vornherein eine Fuge, in welcher ein wagrechter Gewölbschub wirksam wird, nicht ohne weitere Rechnung, wie solches bei symmetrischen Gewölben mit symmetrischer Belastung möglich ist, angenommen werden; vielmehr muß für die hier auftretende Gewölbform, einer allgemeinen Eigenschaft der Mittellinien des Druckes gemäß, welche einem möglichst kleinsten wagrechten Gewölbschube angehört, eine Mittellinie des Druckes aufgesucht werden, welche bei einem stabilen Gewölbe innerhalb der Gewölbfläche verbleibt und zwei Punkte mit der inneren Wölblinie und einen Punkt mit der Rückenlinie gemeinschaftlich hat. Diese drei Punkte sind vorweg noch unbekannt. Wählt man jedoch einstweilen beliebig, z. B. die Punkte a und b auf der inneren Wölblinie, den dazwischen liegenden Punkt s auf der Rückenlinie, so läßt sich eine Mittellinie des Druckes als Probeline ermitteln, welche diese drei Punkte enthält, im Allgemeinen aber noch nicht innerhalb der Gewölbfläche verbleibt. Aus ihrem Verlaufe erkennt man aber dort, wo dieselbe sich am weitesten von den Gewölblinien entfernt, diejenigen Punkte, durch welche eine neu gezeichnete Mittellinie des Druckes gehen müßte, wenn dieselbe in der Gewölbfläche liegen soll. In den meisten Fällen sind nur wenige derartige Untersuchungen erforderlich, die außerdem unter Anwendung der Verfahren der graphischen Statik ziemlich einfach sind.

¹⁶⁷⁾ 2. Aufl.: Art. 267, S. 253.

Um eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, welche durch die gewählten 3 Punkte a, s, b geht, die zugleich den im Gewölbeschnitte für die Theillinien eingezeichneten Fugenlinien angehören, hat man zu beachten, daß von der Fuge ss , bezw. von der ihr zukommenden Theillinie aus für den Gewölbkörper von s bis a die Gewichtssumme gleich der Strecke os , von s bis b die Gewichtssumme gleich der Strecke 57 des Gewichtplanes in Frage kommt. Die Lage dieser resultirenden Gewichte ist im Seilpolygon G zu ermitteln, indem für die durch die Fuge ss von einander geschiedenen Gewichte

Fig. 311.



durch Erweitern des gemeinschaftlichen Seilstrahles hi die Schnittpunkte g und k mit den äußersten Seilstrahlen c und e bestimmt werden. Durch g zieht die lothrechte Resultirende $P = os$, während durch k die Lothrechte $Q = 57$ geht.

Da außerdem die Lage der Mittelkraft R von P und Q bekannt ist, so läßt sich für die Gewichte P und Q ein Seilpolygon $\delta, \beta, s, \alpha, a$ mit den äußersten Strahlen $\delta\alpha_1$ und $a\alpha_1$ im Gewölbeplane fest legen, welches durch die 3 Punkte a, s, b geht, und worin die in $\beta\alpha$, bezw. $\alpha\beta$ wirkenden Seilspannungen als in s thätige Gewölbschübe auftreten. Zur Ermittlung dieses Seilpolygons ist ein bekannter Satz der graphischen Statik benutzt, welcher sagt:

Wenn sich die drei Ecken α, α_1, β , welche einem Seilpolygon $\alpha\alpha_1\beta$ mit den fortgeführten beiden äußersten Strahlen $\alpha\alpha_1$ und $\beta\alpha_1$ angehören, auf drei gegebenen Strahlen P, R, Q bewegen, wenn ferner

zwei Seiten des Seilpolygons, z. B. $\alpha\sigma_1$ und $\alpha\beta$, sich um zwei feste Punkte a , bzw. s drehen, so dreht sich auch die dritte Seite $\beta\sigma_1$ stets um einen und denselben festen Punkt F , den sog. Fixpunkt, welcher immer auf der durch die beiden festen Punkte a und s geführten geraden Linie, der sog. Polaraxe liegt. Zur Bestimmung jenes Fixpunktes F und auch des zur weiteren genauen Durchführung der Zeichnung zu benutzenden zweiten Fixpunktes φ einer zweiten Polaraxe E_1 , braucht man nur, um die zeichnerischen Darstellungen dafür im Gewölbeplane ganz zu vermeiden, bei der lothrechten Richtung von P, R und Q aus leicht ersichtlichen Gründen die Projectionen der Fixpunkte F und φ zu ermitteln und diese auf die Polaraxe A_1 (Gerade durch a und s) für F , bzw. auf die Polaraxe E_1 (Gerade durch b und s) für φ unmittelbar zu übertragen. Solches ist im Hilfsplane \mathcal{Y} geschehen. Auf der beliebig, hier wagrecht gezogenen Geraden a_1b_1 sind gemäß der lothrechten Richtung von P, R und Q durch lothrechtes Projiciren die den Punkten a, s, b entsprechenden Punkte a_1, s_1, b_1 fest gelegt. Die Gerade a_1b_1 ist die Projection der Polaraxe A_1 , und eben so ist b_1a_1 die Projection der Polaraxe E_1 .

Zieht man durch a_1 einen sonst beliebigen, die Geraden P und R in u_1 , bzw. t_1 schneidenden Strahl, legt hierauf, durch u_1 und s_1 bestimmt, eine Gerade fest, welche die Linie Q in v_1 schneidet, und fügt man zuletzt den Strahl v_1t_1 ein, so ist der Schnittpunkt F derselben mit a_1b_1 die Projection von dem auf der Polaraxe A_1 liegenden Fixpunkte. Um den Fixpunkt φ zu erhalten, ist von b_1 ausgehend dasselbe Verfahren zu beobachten; man kann aber unter Benutzung der schon im Plane \mathcal{Y} vorhandenen Strahlen die Gerade b_1v_1 bis w_1 auf R ziehen, die Gerade v_1u_1 unberührt lassen und w_1 mit u_1 verbinden, um im Schnittpunkte φ dieses Strahles mit der Geraden b_1a_1 die Projection des Fixpunktes der Polaraxe E zu ermitteln.

Ueberträgt man im Gewölbeplane den Punkt F nach F auf A_1 und den Punkt φ nach φ auf E_1 , so sind $a\varphi$ und bF die Richtungen der äußersten Strahlen des durch as und b gehenden Seilpolygons. Sie treffen die Richtungen von P und Q in den Punkten α , bzw. β , und die durch die Punkte α und β ziehende Gerade s_1 , welche nothwendig auch durch s gehen muß, ist die dritte Seilseite des nunmehr bestimmten Seilpolygons für die Punkte a, s und b . Als Probe für die Richtigkeit dient noch der Umstand, daß die Strahlen $\alpha\alpha$, bzw. $\beta\beta$, gehörig erweitert, sich in einem gemeinschaftlichen Punkte σ_1 auf der Linie der Mittelkraft R schneiden müssen.

In der Linie s_1 wirkt der Gewölbschub für den Gewölbetheil sa in der Richtung $s\alpha$, für den Gewölbetheil sb in der Richtung $s\beta$. Die Größe desselben erhält man im Gewichtsplane sofort, wenn man durch den Punkt o eine Parallele oO_1 zu $a\varphi$ und durch den Punkt γ eine Parallele γO_1 zu bF zieht; beide treffen sich im Punkte O_1 , und die Länge des Strahles O_1s liefert, da s der Endpunkt der Gewichtsstrecke P und der Anfangspunkt der Gewichtsstrecke Q ist, die gesuchte Größe des Gewölbschubes. Zur Prüfung der Zeichnung dient, daß O_1s parallel mit der Geraden $\alpha\beta$ sein muß.

Um nun für diesen Gewölbschub eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, verfährt man in folgender Weise. Das Gewicht \mathcal{J} , welches von s aus bis zur Fuge y in Frage kommt, greift auf der Linie s_1 in h_1 an; zieht man im Gewichtsplane die Linie O_1h_1 und hierzu eine Parallele durch h_1 , bis die Fuge y getroffen wird, so ergibt sich hier ein Punkt jener Drucklinie. So wirken bis zur Fuge r die Gewichte $2, 3, 4$ und 5 . Die Lage des resultirenden Gewichtes P_1 gleich der Strecke $1s$ ergibt sich durch den Schnittpunkt l der Seilstrahlen c_1 und h_1i des Seilpolygons G ; bringt man den Angriffspunkt von P_1 entsprechend l nach q auf s_1 , zieht man O_1q und hierzu eine Parallele qp , so ist p ein Punkt der gesuchten Probeline. Führt man die Zeichnung derselben nach diesen Angaben für das ganze Gewölbe durch, was in Fig. 311 nicht weiter kenntlich gemacht ist, so findet man, daß diese Probeline in der Gewölbfäche $s\alpha b$ verbleibt, die Gewölbfäche $s\alpha a$ jedoch in dem Stücke fpa verläßt, daß mithin diese Drucklinie noch nicht für die Stabilitäts-Untersuchung des Gewölbes maßgebend wird. Der am weitesten von der Wölblinie entfernte Punkt p dieser Probeline giebt ein Erkennungszeichen für die Lage einer gefährlichen Stelle (Bruchfuge) im Gewölbe an. Der dem Punkte p zugehörige Punkt dieser Bruchfuge ist in r bekannt geworden. Die Punkte s und b bleiben unverändert, weil von s bis b die Probeline in der Fläche bleibt.

Ermittelt man nunmehr ein Seilpolygon, welches durch die Punkte r, s und b für die Gewichte von s bis r und von s bis b geht, so weiß man zunächst, daß das resultirende Gewicht P_1 des Stückes von s bis zur Fuge r gleich $1s$ ist und lothrecht durch l zieht, daß ferner das resultirende Gewicht des Stückes von s bis zur Fuge b wiederum gleich $Q = 57$ ist und lothrecht durch k zieht und daß endlich für das bezeichnete Seilpolygon die durch r und s geführte Gerade A_{11} eine Polaraxe wird, während die zweite Polaraxe im vorliegenden Falle als der durch b und s gelegte Strahl E_1 verbleibt.

Ermittelt man im Hilfsplane K in der früher angegebenen und aus der Zeichnung näher ersichtlichen Weise die Projectionen der Fixpunkte F_1 und φ_1 und überträgt man dieselben nach F_1 auf die

Polaraxe A_{11} , bzw. nach φ_1 für die Polaraxe E_1 , so sind $r\varphi_1$ und bF_1 die äußersten Strahlen des zu berücksichtigenden Seilpolygons. Man kann schon hiernach bei genauer Zeichnung, unbekümmert um näheres Festlegen des Seilpolygons, ohne Weiteres die eindeutige Bestimmung des jetzt sich geltend machenden Gewölbschubes vornehmen.

Zieht man, da $P_1 = 15$ und $Q = 57$ ist, durch s im Gewichtsebene eine Linie sO_{11} parallel zu $r\varphi_1$ und ferner hier durch 7 einen Strahl $7O_{11}$ parallel zu bF_1 , so ergibt sich der gemeinschaftliche Schnittpunkt O_{11} dieser Linien. Zieht man $O_{11}S$, so ergibt dieser Strahl die Größe des neuen Gewölbschubes und zugleich die Neigung desselben zur Lothrechten an. Führt man durch s im Gewölbeplane eine Gerade s_{11} parallel zu $O_{11}S$, so ist hiermit die Lage des Gewölbschubes gegeben. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung dient, daß der Punkt h_1 , als Schnittpunkt der Lothrechten P_1 mit dem Strahle $r\varphi_1$, der Punkt k_1 , als Schnittpunkt der Richtung Q mit der Linie bF_1 , und der Punkt s Elemente von einer und derselben Geraden s_{11} sein müssen; daß ferner auch die Strahlen $r\varphi_1$ und bF_1 , gehörig erweitert, sich auf der Richtungslinie der durch d_1 des Seilpolygons G gehenden Resultirenden R_1 von P_1 und Q in einem gemeinschaftlichen Punkte o_{11} schneiden.

In der Geraden s_{11} wirkt in der Richtung sg_1 der Gewölbschub sO_{11} , in der Richtung sk_1 der Gewölbschub $O_{11}S$. Setzt man den Gewölbschub für die beiden Theile links und rechts von der Fuge ss unter Benutzung der aus dem Seilpolygon auf s_{11} übertragenen Angriffspunkte h entsprechend h_1 , o für o_1 u. f. f. mit den bis auf die einzelnen Fugen kommenden resultirenden Gewichten zusammen, so erhält man, wenn z. B. h_1s_1 parallel $O_{11}4$, o_14_1 parallel $O_{11}3$ u. f. f. des Gewichtsebenes gezogen wird, in s_1 , 4_1 u. f. f. Punkte der Mittellinie des Druckes in der Fläche ssa und eben so, wenn i_1 durch i , k_1 durch k auf s_{11} übertragen ist, durch Ziehen der Strahlen i_16_1 parallel $O_{11}6$, k_1b parallel $O_{11}7$ in 6_1 , b Punkte der Drucklinie in der Fläche ssb .

Die gezeichnete Mittellinie des Druckes $s_1r_3i_14_1s_16_1b$ bleibt vollständig in der Gewölbsfläche, hat mit der inneren Wölblinie nur die beiden Punkte r und b und mit der Rückenlinie nur den einen Punkt s gemein, ist also eine Drucklinie mit dem möglichst kleinsten Horizontalschube. Derselbe ist gleich der wagrechten Seitenkraft von $o_{11}S$, d. h. gleich $H = O_{11}\gamma$ im Gewichtsebene.

Der Werth von $H\gamma$ bestimmt sich durch Messung zu $0,8$ m. Da die Basiszahl $B = 2$ m ist, so wird $H = 0,8 \cdot 2 = 1,6$ qm, bzw. auch $= 1,6$ cbm. Dieser Werth liegt nach der Tabelle auf S. 202 zwischen der Gewölbfstärke $d = 1$ Stein und $d = 1\frac{1}{2}$ Stein, so daß für die Ausführung des untersuchten Gewölbes die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zu nehmen ist. Der größte Fugendruck entsteht für die Kämpferfuge a als Strecke oa_{11} . Zieht man oa_{11} parallel der Fuge a und bestimmt man in N die normale Seitenkraft des Fugendruckes, so mißt $O_{11}a_{11}$ nach dem Zeichenmaßstabe $2,28$ m; mithin ist der größte Normaldruck durch die Zahl $2,28 \cdot 2 = 4,56$ Quadr.- bzw. Cub.-Met. bestimmt. Nach derselben Tabelle würde d auch hierfür die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweisen sein, so daß die Gewölbfstärke überall gleich groß bleiben kann.

In vielen Fällen zeigt sich bei der Stabilitäts-Untersuchung einhöftiger Gewölbe, daß sich für die drei zuerst gewählten Punkte a, s, b eine Probelinie herausstellt, welche, wie in Fig. 312 angegeben, die Gewölbsfläche mehrfach, häufig einmal unterhalb, ein zweites Mal oberhalb dieser Fläche verläßt. Dann werden durch die am weitesten abstehenden Punkte c und d dieser Linie von der inneren, bzw. äußeren Wölblinie Bruchfugen gekennzeichnet, deren Grenzpunkte e , bzw. f in Gemeinschaft mit einem unveränderten Punkte b nunmehr an die Stelle der zuerst angenommenen drei Punkte zu treten haben. Die Polaraxen werden die durch e und f , so wie durch b und f geführten Strahlen A , bzw. B .

Die diesen Polaraxen angehörigen Fixpunkte F und φ werden in der Hilfsfigur C nach dem mitgetheilten Verfahren unter Anwendung der Gewichte P für den Theil $f e$, und Q für den Theil $f b$

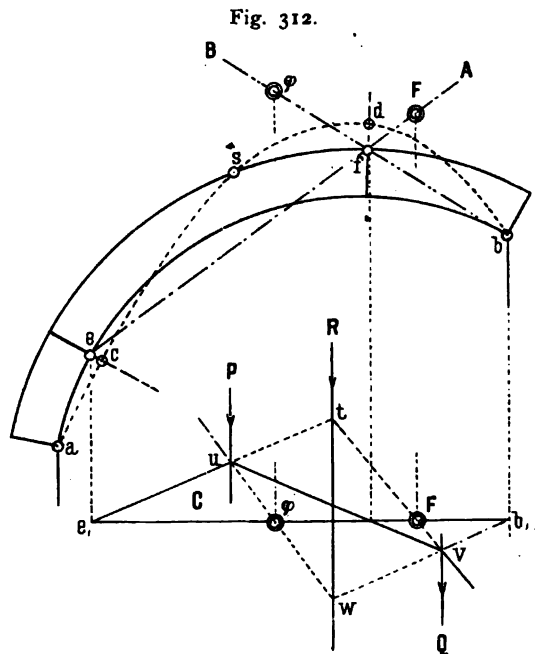


Fig. 312.

nebst ihrer Mittelkraft R aufgesucht, und dann wird die neue, durch b, f und e gehende Drucklinie in der vorhin beschriebenen Weise gezeichnet. Bei einem überhaupt stabilen Gewölbe wird man bald zum Abschluß derartiger Untersuchungen gelangen.

Ist die Wölblinie eines einhöftigen Gewölbes kein Kreisbogen, sondern irgend eine der in Art. 135 (S. 175) angegebenen Curven, so erfährt die Stabilitäts-Untersuchung in ihren Grundlagen keine Aenderung.

Noch möge bemerkt werden, daß auch bei geraden Tonnengewölben mit unsymmetrischer Belastung das Verfahren der Ermittlung der Mittellinie des Druckes genau der eben behandelten Untersuchungsart eines einhöftigen Gewölbes entspricht. Selbst wenn einhöftige Gewölbe außer lothrecht wirkenden Gewichten noch durch zur Wagrechten geneigt gerichtete Kräfte, wie bei Strebebogen der Kreuzgewölbe, die auf ihrer Rückenfläche z. B. noch vom Winddruck getroffen, also dadurch mit beansprucht werden können und wovon später noch das Nöthige gesagt werden wird, bleibt das Wesen des Verfahrens dasselbe.

Schließlich ist noch eines für die Praxis wichtigen Falles zu gedenken, bei welchem Tonnengewölbe von verschiedener Spannweite und von verschiedener Belastung sich gegen ein gemeinschaftliches Widerlager setzen und dieses durch ihre resultirenden Kämpferdrücke beanspruchen, welche nach Lage, Größe und Richtung von einander verschieden sind. Es handelt sich deshalb hier noch um die statische Untersuchung derartiger Gewölbanlagen, besonders des Widerlagers, wofür Fig. 313 in Benutzung genommen werden soll.

147.
Tonnengewölbe
von
verschiedenen
Spannweiten.

Die beiden ungleich weiten, auch ungleich belasteten geraden Tonnengewölbe G und G_1 , deren Belastung, bei jedem Gewölbe für sich betrachtet, eine zu ihrem Scheitellothe L , bezw. L_1 gleichmäßig auftreten möge, stützen sich gegen ein und dasselbe Widerlager VI .

Da jedes Gewölbe für sich ein symmetrisches Gewölbe mit symmetrischer Belastung in Bezug auf das Scheitelloth bildet, so wirkt in einer gedachten Scheitelfuge jedes Gewölbkörpers G , bezw. G_1 ein wagrecht gerichteter Gewölbschub. Aus diesem Grunde wurde nur je eine Hälfte der Gewölbe, wofür die Tiefe gleich der Längeneinheit ist, dargestellt.

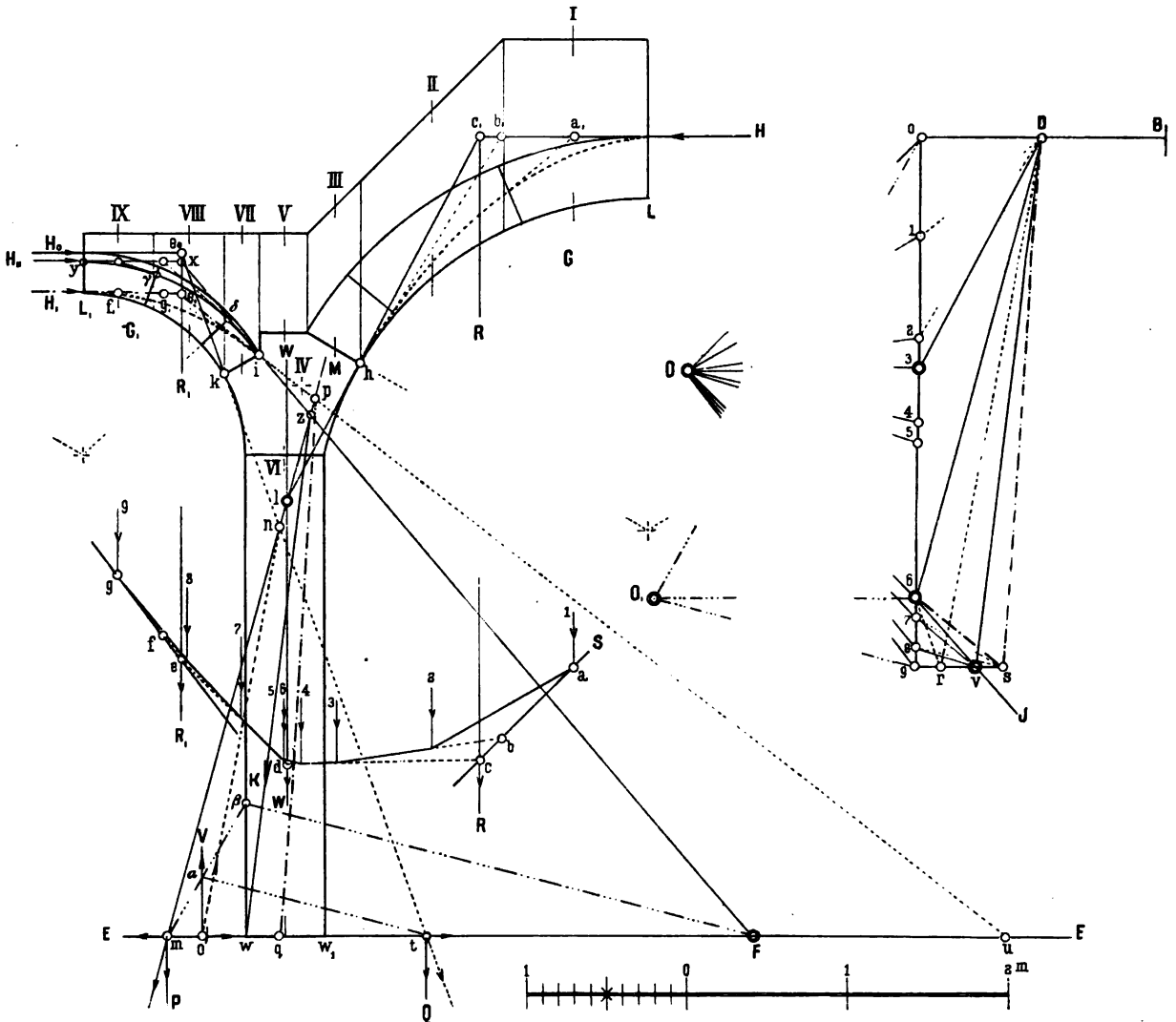
In bekannter Weise ist, nachdem die Flächen der sämtlichen Theilstreifen auf eine Basis $oB = 1,5$ m reducirt wurden, für das größere und stärker belastete Gewölbe G eine Mittellinie des Druckes für den möglichst kleinsten Gewölbschub H ermittelt, welche dem gemäß durch den höchsten Punkt der Scheitelfuge und den tiefsten Punkt k einer unter 60 Grad geneigten Bruchfuge geht. Diese Bruchfuge ist hier zugleich Kämpferfuge. Wäre dies nicht der Fall, so müßte die Bruchfuge zuvor, wie bei Fig. 312 angegeben ist, bestimmt werden. Dasselbe gilt auch für das kleine Gewölbe G_1 .

Die für G gezeichnete Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Gewölbsfläche. Der zugehörige Gewölbschub H ist im Gewichtsebene als Do dargestellt. Aus diesem Gewölbschube und dem Gewichte oJ entspringt der durch $c_1 k$ der Lage nach bestimmte Kämpferdruck von der Größe DJ . Der Widerlagskörper VI nebst dem darauf ruhenden Gewölbanfänger IV und seiner Uebermauerung V besitzt ein Gewicht gleich der Strecke JB im Gewichtsebene. Dieses resultirende Gewicht wirkt in der Lothrechten W , welche mit Hilfe des Seilpolygons S ihrer Lage nach, als durch d gehend, gefunden wird. Mit dem Gewichte JB läßt sich der Kämpferdruck DJ sofort zu einer Hauptmittelkraft $D6$ zusammensetzen. Ihre Lage im Gewölbsplane erhält man, indem die Parallele M zu $D6$ durch den Schnittpunkt l der gehörig erweiterten Linie $c_1 k$ mit der Linie W gezogen wird. Die Mittelkraft $D6$, welche in dieser Hauptlinie M wirkt, trifft die Ebene EE , worin die als fest angenommene Fußfläche des Widerlagskörpers enthalten ist, in einem Punkte m außerhalb der durch w gehenden Seitenkante der rechteckigen Grundfläche des Stützkörpers VI . Hierdurch zeigt sich, daß der Gewölbschub H des großen Gewölbes, wenn dasselbe allein ausgeführt werden sollte, den Stützkörper um die durch w gehende Kante drehen würde und daß kein Gleichgewicht gegen Drehung stattfände. Um zunächst ein solches Gleichgewicht herbeizuführen, muß das kleine Gewölbe einen Gegendruck liefern, welcher mindestens die Größe und Lage annehmen muß, daß die Mittelkraft $D6$, im Strahle M angreifend, mit diesem noch völlig unbekannten Gegendruck des Gewölbes G_1 zusammengesetzt, eine neue Mittelkraft giebt, welche so weit zurückgedrängt wird, daß dieselbe wenigstens durch den Punkt w der Drehkante des Widerlagers geht, um damit einen Grenzzustand des Gleichgewichtes gegen Drehen in der Voraussetzung herbeizuführen, daß die von $D6$ und jenem unbekannten Gegendrucke im Widerlagskörper abhängige Mittellinie des Druckes ganz in der lothrechten Schnittfläche dieses Körpers bleibt. Von einer Gefahr hinsichtlich des Gleitens in den wagrechten Lagerflächen dieses Körpers möge keine Rede sein.

Um für den erwähnten Gegendruck des kleinen Gewölbes zunächst Grenzwerthe zu ermitteln, ist

zu beachten, daß, wenn dieses Gewölbe für sich allein bestände, der Kämpferdruck desselben einem möglichst kleinen Gewölbschube H_0 angehört. Derselbe Schub H_0 erzeugt alsdann eine sog. Minimal-Drucklinie, welche durch den höchsten Punkt der Rückenlinie im Scheitellothe L_1 und den tiefsten Punkt k der Kämpfer-, hier zugleich Bruchfuge zu führen ist. Dieser hier auch wagrechte Horizontalschub ist nach bekannter Methode als $H_0 = gr$ im Gewichtsplane gefunden. Die Größe des Kämpferdruckes ergibt sich als $6r$. Derselbe wirkt in der durch e_0k gezogenen Geraden. Setzt man diesen Kämpferdruck mit der bekannten, in der Hauptlinie M wirkenden Mittelkraft $D\delta$ zusammen, so entsteht die Mittelkraft Dr .

Fig. 313.



Sie geht im Gewölbpiane durch den in M enthaltenen Schnittpunkt n mit dem fortgeführten Strahle e_0k des Kämpferdruckes $6r$. Zeichnet man no parallel Dr , so ist die Lage dieser Schlussmittelkraft gefunden. Auch diese trifft die Ebene EE der Fußfläche des Widerlagers in einem Punkte o , welcher noch außerhalb der Drehkante w derselben liegt.

Hieraus folgt, daß der Widerlagskörper unter dem hier eingeführten möglichst kleinsten Gegen-
drucke des Gewölbes G_1 nicht fähig ist, dem Schube des größeren Gewölbes G genügenden Widerstand zu leisten, und daß der Schub des größeren Gewölbes zur Herstellung des Gleichgewichts des ganzen

Systems gegen Drehung einen größeren Gegendruck des kleineren Gewölbes, als solcher in Folge des möglichst kleinsten Gewölbschubes H_0 sich darbietet, wachgerufen wird, daß also statt $H_0 = \delta r$ ein größerer Gewölbschub für G_1 eintreten muß. Da für diesen neuen Gewölbschub nur die allgemeine wagrechte Richtung bekannt ist, während sein Angriffspunkt und seine Größe noch vollständig unbekannt sind; so kann man, da ein Wachsen dieses Schubes sich unbedingt als erforderlich herausgestellt hat, da ferner der wagrechte Gewölbschub für G_1 aber überhaupt vermöge der symmetrischen Form und Belastung des Gewölbes nothwendig seinen Angriffspunkt innerhalb der Scheitelfuge desselben haben muß, sofort zu einer weiteren Grenzbestimmung für denselben übergehen.

Nimmt man zu diesem Zwecke eine Mittellinie des Druckes an, welche einem möglichst größten Gewölbschube angehört und welche man mit dem Namen Maximal-Drucklinie bezeichnet, so geht dieselbe bei dem vorliegenden Gewölbe G_1 durch den tiefsten Punkt der Scheitelfuge und den höchsten Punkt i der Bruchfuge. Die wagrechte Richtung des Gewölbschubes H_1 schneidet die resultirende Gewichtslinie R_1 des Gewölbstückes G_1 im Punkte e_1 . Die Richtung $e_1 i$ giebt die Lage des nun entstehenden Kämpferdruckes an. Zieht man im Gewichtsplane δs parallel zu $e_1 i$, so erhält man qs als Horizontal-schub H_1 und δs als Kämpferdruck. Die Maximal-Drucklinie für H_1 ist in bekannter Weise im Gewölbsplane eingezeichnet; dieselbe verbleibt innerhalb der Gewölbsfläche, so daß hiernach für H_1 keine weitere Unterfuchung nöthig wird. Vereint man nun wiederum den Druck $D\delta$ mit dem Kämpferdruck δs zu der Mittelkraft Ds , zieht man $e_1 i$ im Gewölbsplane bis zum Schnitte p mit der Hauptlinie M , führt man ferner durch p einen Strahl pq parallel zu Ds , so zeigt sich, daß dieser Strahl, welcher nunmehr die Mittelkraft aus dem Drucke $D\delta$ und dem neuen größeren Kämpferdrucke δs des Gewölbes G_1 enthält, durch den Punkt q innerhalb der Fußfläche des Widerlagskörpers geht und daß somit kein Drehen um die Seitenkanten dieser Fußfläche eintreten kann, oder daß bei der früher hinsichtlich der Lage einer Mittellinie des Druckes im Widerlager gemachten Voraussetzung das System stabil ist.

Hiernach ist also gefunden, daß der durch die Maximal-Drucklinie bedingte Gegendruck, sobald solcher in diesem Maße im kleinen Gewölbe durch das große Gewölbe wach gerufen würde, im Stande ist, die Standfähigkeit des ganzen Systemes herbei zu führen. Dieser hier eingetretene, der Maximal-Drucklinie entsprechende Gegendruck kann aber füglich bei einer anderen Form der Gewölblinien oder einer anderen Art der sonst symmetrischen Belastung der verschiedenen Gewölbe oder einer anderen Gewölbsstärke eben so gut auch über die andere Drehkante w_1 der Fußfläche des Widerlagers hinausfallen, und damit wäre dann offenbar ein Zeichen dafür gegeben, daß der Schub des großen Gewölbes G eines derart großen Gegendruckes nicht bedurfte, um die Standfähigkeit des Systemes herzustellen.

Würde in einem anderen Falle aber der Punkt q noch innerhalb der Strecke mw vor der Drehkante w gefunden, so ist auch der Gegendruck, welcher der Maximal-Drucklinie des Gewölbes G_1 zukommt, nicht fähig, dem Schube des großen Gewölbes G den nöthigen Widerstand zu leisten, und ein solcher Fall würde dann bekunden, daß das gegebene System nicht standfähig wäre.

Aus der hier mitgetheilten Unterfuchung ergibt sich, entsprechend den Grenzwerten von H_0 und H_1 , auch eine Grenzlage für die Punkte o und q in der Ebene EE . So gut nun zwischen den Grenzen H_0 und H_1 noch zahllose Werthe des Horizontalschubes für das Gewölbe G_1 , nur größer als H_0 und kleiner als H_1 , sich einführen ließen, ebenso gut würden noch zahllose Kämpferdrücke und zahllose, zwischen o und q liegende Schnittpunkte der aus diesen Drücken und des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D\delta$ mit der Ebene EE zu finden sein.

Um nun den Gewölbschub H , des kleinen Gewölbes zu finden, welcher eine, jedoch in der Gewölbsfläche verbleibende Mittellinie des Druckes liefert, die einem solchen Kämpferdrucke zukommt, der im Stande ist, mit dem Schube $D\delta$ eine Mittelkraft zu erzeugen, welche die Ebene EE genau im Grenzpunkte w der Drehkante zwischen o und q trifft, kann man in folgender Weise vorgehen. Denkt man sich den Angriffspunkt des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D\delta$ nach m in EE verlegt, eben so z. B. den Angriffspunkt des Kämpferdruckes δr der Minimal-Drucklinie durch Fortführen der Geraden $e_0 k$ nach t in EE gebracht, so kann man den Schub $D\delta$ hier zerlegen in eine lothrechte Seitenkraft P , deren Größe offenbar gleich der Strecke ob im Gewichtsplane ist, und in eine wagrechte Seitenkraft, deren Größe gleich Do ebendasselbe erhalten war; gleichfalls kann man in t den Kämpferdruck δr in seine lothrechte Seitenkraft Q gleich der Strecke δq und in seine wagrechte Seitenkraft von der Größe $H_0 = qr$ zerlegen. Die Mittelkraft Dr aus $D\delta$ und δq hat in o ihren Angriffspunkt auf EE ; diese kann in eine lothrechte Seitenkraft V und in eine wagrechte Seitenkraft zerlegt werden. Da nun für den Gleichgewichtszustand das Kräftepolygon $o\delta rD$ geschlossen und mit ununterbrochenem Richtungssinn versehen sein soll, so tritt die Strecke Dr in o im Sinne rD , aber in gleicher Größe von Dr auf. Ihre lothrechte Seitenkraft ist also $V = qo$.

Die algebraische Summe aller in E liegenden wagrechten Seitenkräfte muß gleich Null sein, wie auch die algebraische Summe der lothrechten Seitenkräfte gleich Null ist. Das für die drei lothrechten Seitenkräfte P, Q und die diese beiden verzehrende Kraft V mit einer wagrechten Schlufsseite mt verfehene Seilpolygon muß äußerste Strahlen am und at besitzen, welche sich auf V in einem beliebigen Punkte α schneiden, und außerdem für den Gleichgewichtszustand geschlossen sein.

Da die Größen $P = ob$, $Q = \delta q$ und $V = qo$ bekannt sind, so wird, wenn man im Gewichtsebene oO_1 parallel zur Seilseite ma und δO_1 parallel zu mt zieht, in O_1 der Pol des Seilpolygons mat erhalten; die Gerade O_1q wird der zu at gehörige Polstrahl, also parallel mit at .

Soll nun eine Gleichgewichtslage für das ganze System herbeigeführt werden, wobei für irgend einen möglichen, zwischen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 auftretenden Kämpferdruck und dem Schube $D\delta$ des Gewölbes G eine Mittelkraft entstehen soll, welche durch einen gegebenen Punkt w geht, so läßt sich der Schnittpunkt F der Richtungslinie eines solchen Kämpferdruckes mit EE überhaupt folgendermaßen fest legen.

Die durch den Punkt q im Gewichtsebene geführte wagrechte Linie qs enthält stets den Endpunkt des von D nach dieser Linie zu ziehenden Kämpferdruckes, weil $ob = P$ und $\delta q = Q$ unveränderlich bleiben; eben so können Do und die wagrechte Lage der Linie qs keine Aenderung erfahren.

Aus diesem Grunde bleibt auch oq stets unverändert gleich V . Endlich ist auch der Punkt m der Hauptlinie M in EE unverrückbar, wie auch der Pol O_1 nebst den Polstrahlen oO_1 , $o_1\delta$, o_1q nicht veränderlich wird.

Geht nun die Lothrechte V durch einen beliebigen Punkt auf EE , z. B. durch w , so trifft der äußerste Seilstrahl, welcher nach wie vor parallel O_1o ist, diese Lage von V in β . Durch diesen Punkt zieht auch, wie früher bemerkt, nothwendig die zu O_1q parallele zweite äußerste Seilpolygonseite. Legt man also durch β einen Strahl βF parallel O_1q , so wird die wagrechte Schlufsseite des Seilpolygons $m\beta F$ im festen Punkte F geschnitten. Durch diesen Punkt F muß der mit der lothrechten Seitenkraft Q behaftete mögliche Kämpferdruck gehen, welcher die durch w gehende, vorhin bezeichnete Mittelkraft bedingt. Von den zahllosen Linien, welche durch F , zwischen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 liegend, gezogen werden können und welche sämtlich zwischen diesen Grenzen i und k einen Kämpferdruck enthalten können, welcher der gestellten Forderung entspricht, ist eine vorhanden, welche den jetzt möglichst kleinsten Kämpferdruck für G_1 enthält.

Zieht man zur Bestimmung dieser Linie durch F und den höchsten Punkt i der Bruchfuge einen Strahl, so schließt derselbe den größten Winkel mit der Wagrechten ein, der in Bezug auf die Punkte i und k möglich wird, steht also am steilsten und wird deshalb, innerhalb des Dreiecks δrs zur Führung einer durch δ gezogenen Parallelen benutzt, einen kleineren Abschnitt auf der wagrechten qs hervorrufen, als jeder andere von F nach der Fuge ik gezogene Strahl, d. h. einen möglichst kleinen Gewölbschub für G_1 veranlassen.

Zieht man im Gewichtsebene $\delta\gamma$ parallel zu Fi , so ist δv der gesuchte Kämpferdruck und qv der zugehörige Horizontalschub des Gewölbes G_1 . Verlängert man den Strahl Fi bis zum Schnitte x mit der Lothrechten R_1 und legt man durch x eine Wagrechte, so trifft diese die Lothrechte L_1 der Scheitelfuge in y . Dieser Punkt wird Angriffspunkt für den Horizontalschub $H_{,,}$. Zeichnet man für diesen Schub eine Mittellinie des Druckes $\gamma\gamma\delta i$, so bleibt dieselbe ganz innerhalb der Gewölbfäche. Der Strahl Fi schneidet die Hauptlinie M im Punkte z . Die Mittelkraft aus $D\delta$ und dem zuletzt ermittelten Kämpferdrucke δv ist Dv . Führt man durch z eine Parallele zu Dv , so trifft dieselbe in der That und wie es sein soll den Punkt w auf EE .

Hiernach ist der in xi durch F ziehende Kämpferdruck δv ein solcher, welcher, von dem hierfür möglichst kleinsten in der Wagrechten xy wirkenden Horizontalschube $H_{,,} = qv$ mit bedingt, fähig ist, den Grenzzustand des Gleichgewichtes des ganzen Systemes gegen Drehung um die Kante w der Fußfläche des Widerlagers V hervorzurufen.

Soll bei einer derartigen Stabilitäts-Untersuchung die Prefsbarkeit des Materials berücksichtigt werden, so ist beim Gewölbe G der Angriffspunkt von H etwas tiefer, der Punkt k in der Bruchfuge etwas nach innen zu rücken. Eben so wäre beim kleinen Gewölbe der Angriffspunkt von H_0 etwas tiefer, von H_1 etwas höher zu legen, auch die Punkte i und k ebenfalls je etwas in das Innere auf der Bruchfuge ki zu verrücken. Der Punkt w kann gleichfalls nach q zu verlegt werden. Am eigentlichen Verfahren der Stabilitäts-Untersuchung wird hierdurch keine Aenderung herbei geführt.

Nach den an der Zeichnung ausgeführten Messungen ergibt sich für das Gewölbe G der Werth H zu $0,75 \cdot 1,5 = 1,125$ qm, welchem für Backsteinmaterial nach der Tabelle auf S. 202 eine Gewölbfstärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweisen ist. Für das kleine Gewölbe G_1 wird der hier zu berücksichtigende Horizontalschub $H_{,,} = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6$ qm, wonach die Gewölbfstärke zu 1 Stein fest zu setzen ist.

Hätte man $H_1 = 0,98 \cdot 1,5 = 0,84 \text{ qm}$ in Betracht gezogen, so würde auch hierfür die Gewölbstärke gleich 1 Stein fein. Die normalen Kämpferdrücke erfordern im vorliegenden Falle keine größeren Stärken.

Die Fußfläche des Pfeilers wird von einem lothrechten Drucke $og = 3,8 \cdot 1,5 \cdot 1 = 4,95 \text{ cbm}$ getroffen. Bei der Lage des Angriffspunktes desselben in g für die Maximal-Drucklinie in G_1 , welcher nahezu mit dem Schwerpunkte der Fußfläche von $0,5 \text{ m}$ Breite und 1 m Tiefe zusammenfällt, ergibt sich die Beanspruchung der Steine an der Grundfläche bei einem Eigengewicht von 1600 kg für 1 cbm zu $\frac{4,95 \cdot 1600}{100 \cdot 50} = 1,58 \text{ kg}$ für 1 qcm .

Liegt der Angriffspunkt der Gesamt-Refultirenden aller Drücke des Systemes in der Kräfteebene in einer Hauptaxe der Grundfläche des Widerlagers im Abstände ξ vom Schwerpunkte dieser Grundfläche, so ist für einen Punkt C im Abstände z von diesem Schwerpunkte die Spannung N nach der Gleichung ¹⁶⁸⁾

$$N = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{F \xi z}{J} \right)$$

zu bestimmen. Hierin bezeichnen P die gegebene lothrechte Kraft, F die Querschnittsfläche und J das Trägheitsmoment, bezogen auf eine Schwerpunktsaxe, welche rechtwinkelig zur Hauptaxe steht, worin der Angriffspunkt o von P liegt.

Sind hier b die Breite des Pfeilers mit rechteckiger Grundfläche und t die Tiefe desselben, so ist $J = \frac{1}{12} t b^3$ für die zu der Seite t parallel genommene Schwerpunktsaxe. Alsdann ist $F = b t$, und man erhält

$$N = \frac{P}{t b} \left(1 + \frac{12 \xi z}{b^2} \right).$$

Nach der Zeichnung ist $b = 50 \text{ cm}$ und $t = 100 \text{ cm}$; P ergibt sich zu $4,95 \cdot 1600 = 7920 \text{ kg}$. Liegt der bezeichnete Angriffspunkt von P im Abstände $\xi = \frac{b}{2}$, also in w und ist dann für die Kantenpressung N der Abstand z ebenfalls gleich $\frac{b}{2}$, so wird

$$N = \frac{7920}{100 \cdot 50} \left(1 + \frac{12 \cdot 25 \cdot 25}{25 \cdot 25} \right) = \infty 20,8 \text{ kg für } 1 \text{ qcm}.$$

Diese Beanspruchung ist für Backsteinmaterial viel zu groß, und es müßte dieserhalb für das Widerlager eine größere Breite oder festeres Material angenommen werden. In jedem Falle ist es zweckmäßig, die Breite des Widerlagers zu vergrößern, damit schon für dasselbe eine Mittellinie des Druckes eintreten kann, welche für den Gewölbschub des großen Gewölbes thunlichst nur abhängig gemacht wird von einem Kämpferdrucke des kleinen Gewölbes, welcher durch die Minimal-Drucklinie für H_0 bedingt ist und wobei alsdann die Drucklinie im Widerlager im inneren Drittel seiner lothrechten Fläche bleibt.

c) Ausführung der Tonnengewölbe.

Zur Ausführung der Tonnengewölbe werden im Allgemeinen wesentlich Backstein, Bruchstein und, wenn auch in weniger häufigen Fällen, Quader (Werkstücke, Haupteine) als Hauptbaustoffe benutzt, je nachdem in den einzelnen Gegenden dieses oder jenes von den genannten Materialien als vorherrschendes zur Verfügung steht und je nachdem die Durchbildung der als Tonnengewölbe ausgeführten Decke eines Raumes in architektonischer Beziehung mehr oder weniger reich, mehr oder weniger gegliedert in die Erscheinung treten soll. Waren in frühester Zeit die Tonnengewölbe bei der Decken-Construction über größeren Räumen von hohem Werthe und in ihrer Ausführung oft so kühn behandelt, daß die Reste derselben noch heute die Bewunderung der Kunst- und Sachverständigen, ja jedes gebildeten Menschen wach rufen, so ist nach weiterer Entwicklung des Gewölbbauwes überhaupt doch die Anwendung des Tonnengewölbes zur Ueberdeckung größerer Räume, um als wichtiger Factor bei monumentalen Bauwerken aufzutreten, mehr und mehr in den Hinter-

148.
Allgemeines.

¹⁶⁸⁾ Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Gleichung 50 auf S. 273; 2. Aufl.: Gleichung 69 auf S. 86) dieses Handbuchs.

grund getreten, so daß heute, mit wenigen, ja vereinzelt da stehenden Ausnahmen, Tonnengewölbe bei Werken des Hochbaues nur zur Ueberdeckung von Kellerräumen, Treppenhäusern, Durchfahrten und, wenn es höher kommt, von Eingangshallen Verwendung finden.

149.
Mauerung
der Tonnengewölbe.

Bei der Mauerung der Tonnengewölbe gelten, ganz abgesehen davon, ob als Wölbmaterial Backstein, Quader oder Bruchstein in Anwendung kommen, zuvor die Sätze, daß:

1) in der Stirnfläche des Gewölbes eine ungerade Anzahl vom Schlufsstein aus symmetrisch geordneter und gleich gestalteter Steine auftreten, welche durch Lagerfugen geschieden sind, die in erster Linie, als einem Hauptverbände zukommend, Ebenen angehören, welche senkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes und senkrecht zur Stirnfläche des Gewölbes stehen;

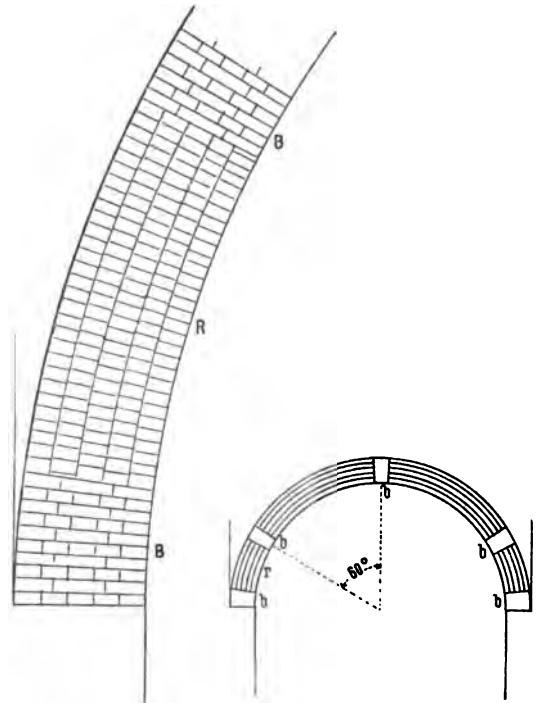
2) daß ferner die Stofsugenflächen zwischen den Wölbsteinen in Ebenen liegen, welche senkrecht zur Laibungsfläche und senkrecht zur Gewölbaxe gerichtet sind, doch so, daß dabei die Stofsugen der benachbarten Wölbschichten oder Wölbscharen auf Verband angeordnet sind, und

3) daß endlich, wenn das Gewölbe eine grössere Stärke erhält, als daß für jede Schicht ein einziger Stein ununterbrochen von der inneren Laibung bis zur Rückenlinie durchtreten kann, in diesem Falle in jedem senkrecht zur Gewölbaxe genommenen Gewölbschnitte (Stirnschnitt) die einzelnen Wölbscharen auch hier einen regelrechten Mauerverband aufweisen.

Werden aus besonderen Veranlassungen bei grösseren Gewölben mit erheblicher Gewölbstärke bei Verwendung von Backsteinen oder kleineren Bruchsteinen mehrere über einander liegende Gewölberinge, sog. Rollschichten, für die Erzielung der erforderlichen Gewölbstärke in Ausführung genommen, so ist es dringend erforderlich, die Gewölbstärke jedes einzelnen Ringes so zu bestimmen, daß bei n Ringen jeder Ring $\frac{1}{n}$ der Gesamtbelastung zu tragen vermag und daß nach Fig. 314 an den gefährlichen Stellen b , bzw. B des Gewölbes, also im Scheitel, in den Bruchfugen oder in ihrer Nähe und am Kämpfer durchgehende in regelrechtem Verbande ausgeführte Schichten eingefügt werden, zwischen welchen die Ringe r , bzw. R für sich ausgemauert werden.

Ist bei den Untersuchungen des Gleichgewichtszustandes der Tonnengewölbe im Allgemeinen auf die innigere Verbindung der Wölbsteine durch Mörtel keine Rücksicht genommen, vielmehr vorausgesetzt, daß ein Gewölbe schon an sich in

Fig. 314.



150.
Mörtel.

jedem befonderen Falle stabil und tragfähig sein soll, ohne daß ein von der Wirkung des die Steine mehr oder weniger gut verkittenden Bindemittels, des Mörtels, abhängiger Factor von vornherein mit in Rechnung gestellt wird, so ist doch bei der praktischen Ausführung der Tonnengewölbe, wie der Gewölbe überhaupt, auf eine zweckmäßige Verwendung guten, mit Sorgfalt bereiteten Mörtels Bedacht zu nehmen, da hierdurch selbstredend ein erhöhter Sicherheitsgrad für den Gewölbkörper erzielt wird.

Im Gewölbebau kommen entweder Luftmörtel, Kalkmörtel allein oder hydraulischer Mörtel, Cement für sich oder endlich, und zwar mit großem Vortheil benutzbar, der sog. verlängerte Cementmörtel, d. i. ein Gemisch aus Cementmörtel und Kalkmörtel, zur Verwendung. Für Gewölbe, welche durchgängig aus Schnittsteinen oder Quadern hergerichtet werden, tritt die Verbindung der Steine durch Mörtel mehr in den Hintergrund, während die richtige Formgestaltung, Lagerung und Verbandanordnung der Wölbsteine vorwiegend in Betracht gezogen werden müssen. Aus diesem Grunde beschränkt sich die Mörtelgabe bei Quadergewölben vielfach beim Versetzen der Steine zunächst nur auf ein ganz dünnes Bestreichen der Lagerflächen mit sog. Weißkalk (gelöschter Kalk ohne Sandzusatz), um hierdurch in erster Linie die noch bei der Bearbeitung der Steine etwa verbliebenen geringfügigen Unebenheiten der Flächen auszugleichen, und sodann, nach der Fertigstellung des Gewölbes, auf das Vergießen der Fugen mit dünnflüssigem, nicht zu schnell erhärtendem Mörtelbrei.

Zu beachten ist, daß die Gewölbanfänger, wenn dieselben vorgekragt werden, ohne Weiteres gleich mit dem Geschoß, bezw. Widerlagsmauerwerk in regelrechtem Verbande und bei Backstein- oder Bruchsteinmauerwerk am zweckmäßigsten mit Verwendung von verlängertem Cementmörtel ausgeführt werden. Zu diesem Mörtel benutzt man vortheilhaft das Gemisch von 1 Raumtheil Kalkmörtel, im Mischungsverhältniß 1 Theil gelöschten Kalk, 3 Theile reinen scharfkörnigen Mauerfand und 1 Raumtheil Cementmörtel, im Mischungsverhältniß von 1 Theil Cement und 3 Theilen reinen Flußsands, bezw. Mauerfands, oder auch ein Gemisch von 2 Raumtheilen des bezeichneten Kalkmörtels und 1 Raumtheil des angegebenen Cementmörtels. Ein inniges Mengen beider Mörtelarten ist vorzunehmen.

Es ist rathsam, Gewölbe von größerer Spannweite oder stark zu belastende Gewölbe, welche aus Backsteinmaterial (volle Backsteine oder Lochsteine) oder aus Bruchstein ausgeführt werden, immer mit verlängertem Cementmörtel, unter Umständen auch mit Cementmörtel allein herzustellen.

Im Hochbauwesen erfolgt die Ausführung der Gewölbe am besten erst dann, wenn sich für den Gewölbkörper die Einwirkung von Niederschlägen beim Vorhandensein der Ueberdachung des Bauwerkes nicht mehr geltend machen kann.

Erheischen besondere Umstände eine frühere Herstellung der Gewölbe, so sind dieselben nach ihrer Vollendung mit einer genügend starken Sandschüttung zu überwerfen und hierauf noch mit einer aus Dachpappe oder dergl. bestehenden Schutzdecke zu versehen, damit etwa auf das Gewölbe herabfallende Bautheile dasselbe nicht durchschlagen und damit ferner das auf das Gewölbe kommende Regenwasser nicht nachtheilig wirken kann. Damit das letztere in geeigneter Weise abfließen und schließlich sachgemäß fortgeleitet werden kann, sind unter Berücksichtigung von Gefälle in den Gewölbzwickeln an einem Punkte oder bei langen Gewölben an mehreren Stellen Abflußöffnungen von etwa 12^{cm} Länge und Breite, bezw. 25^{cm}

151.
Zeit der
Ausführung.

Länge und 12 cm Breite anzulegen, durch welche einseitig Abflusströhen geführt werden.

Die Einwölbung der Tonnengewölbe erfolgt, gleichgiltig welches Material dabei zur Verwendung gelangt, auf besonderen, meistens aus Holzwerk angefertigten, möglichst leicht aufzustellenden und nach der Benutzung auch möglichst mühelos wieder zu lösenden Rüftungen.

Von der gesammten Rüftung sind die Rippen oder Rüftbogen die wesentlichsten Bestandtheile. Für kleinere Gewölbe werden zu diesen Rippen einfache Wölbscheiben oder auch einfache Lehrbogen benutzt, während hierfür bei grösseren Gewölben trägerartige, aus entsprechend starken Hölzern abgebundene Zimmerwerke, die sog. Lehrgerüste, zur Anwendung kommen.

Die einfachen Wölbscheiben bestehen nach Fig. 315 aus zusammengefügtten Brettern von 30 bis 35 mm Stärke, welche oben nach der Wölblinie geschnitten, sonst nur durch seitlich aufgenagelte Leisten von 15 bis 20 cm Breite und 30 bis 50 mm Stärke mit einander verbunden sind.

Bei den einfachen Lehrbogen (Fig. 316) sind bei stärkerer Ausführung zwei neben einander liegende Brettstücke von 30 bis 35 mm Stärke zu einem, der Wölblinie angepassten Wölbkranz vereinigt. Dieser Wölbkranz erfährt weiter durch Leisten oder Bretter, welche strahlenförmig von einem wagrechten Grundbrett ausgehen, eine Absteifung und Befestigung.

Einen einfachen Lehrbogen, welcher jedoch schon den Uebergang zu den Gerüftbogen eines Lehrgerüftes bildet, zeigt Fig. 317. Hierbei ist der aus etwa 5 cm starken, 1,5 m bis höchstens 3,0 m langen Bohlen angefertigte Wölbkranz *a* mit der Schwelle *b* durch einzelne Pfosten *c* in kräftige Verbindung gebracht.

Fig. 315.

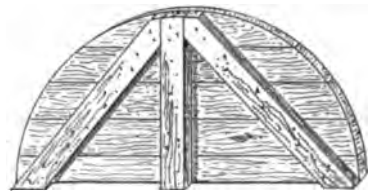


Fig. 316.

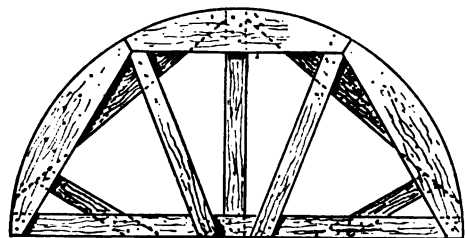
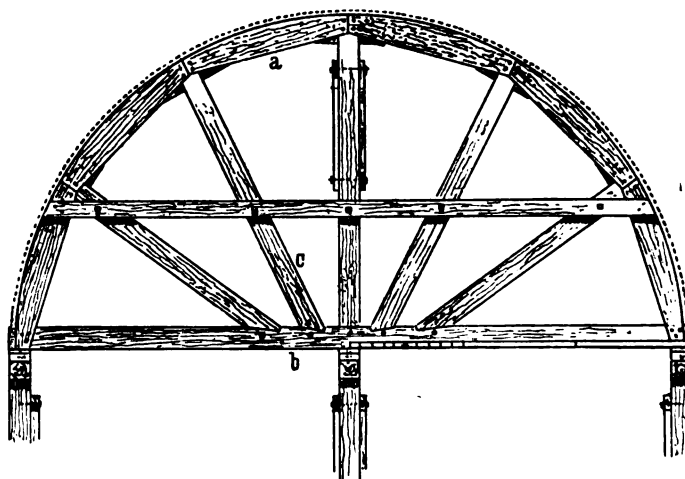
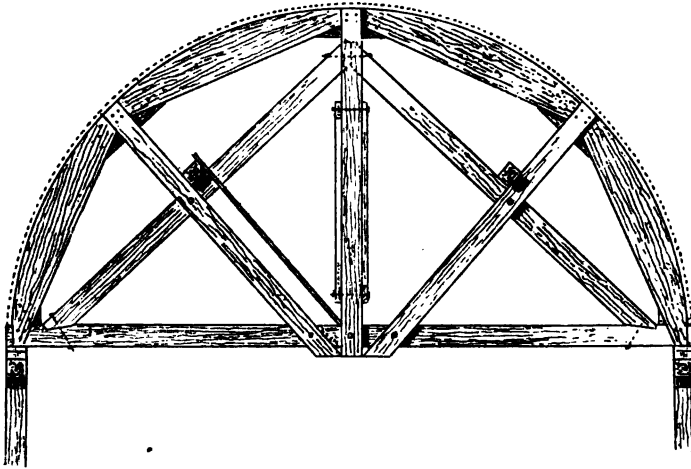


Fig. 317.



Bei größeren Lehrgerüsten ist das Holzwerk der Rippen so zu ordnen, daß möglichst unverschiebbare Dreiecksverbindungen entstehen. Zwischen die Berührungsflächen derjenigen Verknüpfungspunkte, bei welchen durch die Belastung der Rüst-

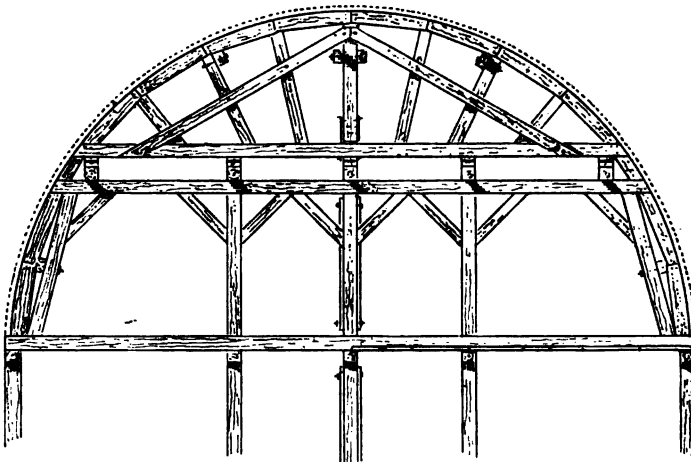
Fig. 318.



bogen die Hölzer sich leicht in einander pressen können, sind zweckmäfsig dünne Streifen aus Weifs-, Zink- oder Kupferblech zu legen.

Meistens werden derartige Rüstbogen als Häng- und Sprengwerke mit durchgehender wagrechter Schwelle construiert. Seltener sind im Hochbauwesen die ge-

Fig. 319.



sprengten Gerüste, deren Streben unmittelbar nach dem Widerlager, bezw. nach dem Fußboden des zu überwölbenden Raumes geführt werden. In Fig. 318 u. 319 sind Rippen mit durchgehender Schwelle und darüber befindlichem Streben- nebst Hängefäulen-System dargestellt. In Fig. 320 ist eine Rüstbogen-Construction gegeben,

bei welcher in den Randhölzern a radial gerichtete Stäbe b zur Aufnahme gebogener Latten c dienen, welche dann die 2,0 bis 2,5 cm starke Schalung aufnehmen.

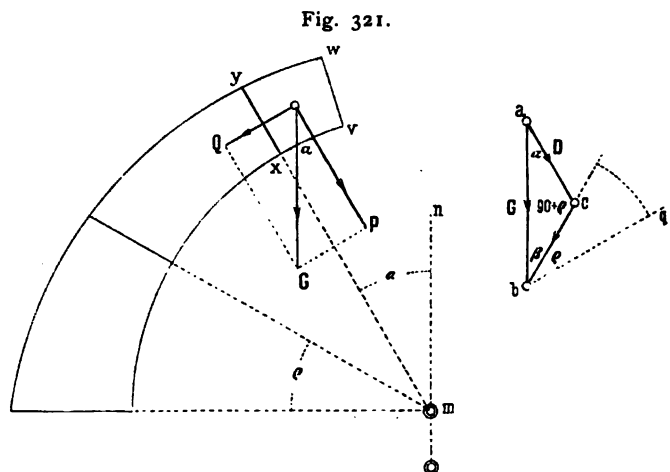
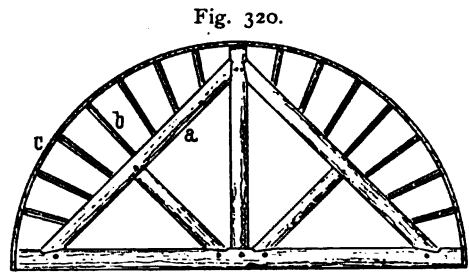
Die Stäbe oder Speichen *b* sind rund, besitzen einen Durchmesser von 5 bis 8 cm und werden unten etwas zugespitzt, in 3 bis 5 cm weite, 10 cm tiefe Löcher gesteckt, welche in den Randhölzern *a* in Entfernungen von etwa 40 cm vorgebohrt werden. Die auf dem Kopfe der Stäbe mit Nägeln befestigten, etwa 2 + 4 cm starken Latten werden vor ihrer Verbiegung zu werden.

Die Schwellen, Pfosten und Randhölzer sind vielfach als Rundholz von 15 bis 22 cm Durchmesser ohne weiteres Beschlagen gelassen.

Diese Lehrbogen, welche in vielen Gegenden am Rhein Anwendung finden, sind für die Einwölbung in Entfernungen von etwa 0,60 m aufzustellen.

Sollen die Rüst- oder Lehrbogen als eigentliche Träger der nach und nach von den Bogenanfängen aufgebrachten Wölbflächen hinsichtlich ihrer durch das Gewicht der Wölbsteine erfolgenden Beanspruchung einer Untersuchung unterzogen werden, so ergibt sich zunächst, daß von allen Wölbflächen, deren Lagerflächen eine geringere Neigung zur Wagrechten haben, als der Reibungswinkel des Wölbmaterials beträgt, kein Druck auf den Tragbogen ausgeübt wird. Sodann aber ergibt sich weiter, daß eine Wölbfläche, deren Lagerfläche in ihrer Neigung diesen Reibungswinkel überschreitet, abgleiten würde und nur durch ihre vom Rüstbogen getragene Unterlagerung hieran verhindert wird. Diese Wölbfläche erzeugt also einen Druck für den Rüstbogen. Verfolgt man jede weitere Wölbfläche bis zur Scheitelfläche, so ergibt sich ein fortwährendes Steigen der Größe der einzelnen Drücke der Wölbflächen und erst nach dem vollständigen Schlusse des Gewölbes kann, da das Gewölbe alsdann frei für sich bestehen soll, die Entlastung der Rüstbogen sich geltend machen.

Für den Rüstbogen selbst kommen die von einer Anzahl von Wölfschichten hervorgerufenen größten Drücke in erster Linie in Betracht. Zur Bestimmung dieser größten Belastung des Rüstbogens benutzt man ein zeichnerisches Verfahren, welches jedoch unter der nicht ganz strengen Annahme, daß die Pressungen immer in winkelrechter Richtung für den Rüstbogen wirken, nur als Näherungsverfahren anzusehen ist. Da die Theorie der Rüstbogen indessen für die praktische Ausführung keine hervorragende Bedeutung hat, dieselbe auch einem anderen, als dem hier betretenen Gebiete angehört, so möge nur das gewöhnliche Verfahren angegeben werden, welches zur Ermittlung des an irgend einer Stelle auftretenden größten Druckes dient.



In Fig. 321 sei $xyvw$ ein Wölbstein von sehr geringer Breite $xv = b$, von der Tiefe gleich der Längeneinheit und vom Gewichte v für die Körpereinheit. Alsdann ist das Gewicht dieses Wölbsteines, da die Höhe h desselben als xy und die Breite b für das schmale Stück beibehalten werden können, bestimmt als

$$G = b \cdot h \cdot 1 \cdot v. \quad \dots \dots \dots 162.$$

Der Körper ruht auf der beliebig angenommenen Lagerfläche xy , welche unter einem Winkel α zum Scheitellothe mn geneigt ist. Bezeichnet ρ den Reibungswinkel des Materials, so erhält man nach der Lehre von der schiefen Ebene unter Bezugnahme auf Fig. 321 und auf die darin vorgenommene Zerlegung von G in die Seitenkräfte P und Q , diejenige Kraft D , welche den Körper auf der schiefen Ebene xy abwärts zu treiben sucht und welche dem Drucke auf die Unterlage des Wölbsteines entsprechen soll, als

$$D = P - \operatorname{tg} \rho \cdot Q,$$

d. h., da $P = G \cdot \cos \alpha$ und $Q = G \cdot \sin \alpha$ ist, auch

$$D = G (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha). \quad \dots \dots \dots 163.$$

Dieser Ausdruck läßt sich nach Fig. 321 leicht durch Zeichnung darstellen. Nimmt man $ab = G$, zieht man ac parallel zu P , bg parallel zu Q und trägt man alsdann den Winkel $cbg = \rho$ an bg , so schneidet der Schenkel bc den Strahl ac in c , und im Dreiecke abc ist ac gleich dem gefuchten Werthe von D .

Denn es ist

$$\frac{D}{G} = \frac{\sin \beta}{\sin (90 + \rho)} = \frac{\sin [90 - (\alpha + \rho)]}{\cos \rho} = \frac{\cos (\alpha + \rho)}{\cos \rho} = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \rho - \sin \alpha \cdot \sin \rho}{\cos \rho},$$

also auch

$$D = G (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha).$$

Bringt man das Dreieck abc in die Lage von Fig. 322, indem man $ab = G$ parallel zu xy zieht, so ergibt sich auch ac als D . Schlägt man ac von a aus auf ab nieder, so ist auch $da = D$ der für den Wölbstein $xyvw$ in Frage kommende Druck.

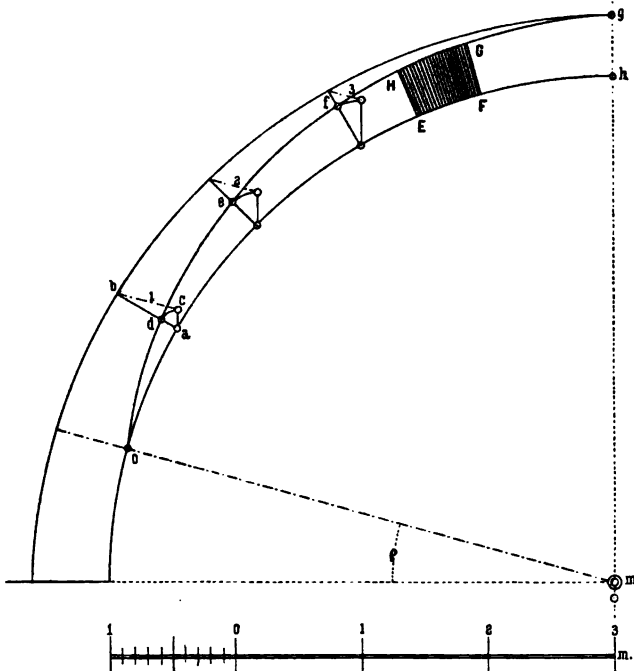
Setzt man in Gleichung 163 für G den Werth aus Gleichung 162, so wird

$$D = b h v (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha),$$

und hieraus folgt weiter

$$\frac{D}{b v} = z = h (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha) \quad \dots \dots \dots 164.$$

Fig. 323.



Dieser Werth von z bezeichnet den spezifischen Druck des Rüstbogens im Punkte x . Derselbe kann nach Maßgabe von Fig. 322 wiederum leicht durch Zeichnung ermittelt werden, sobald man für jeden Punkt x nur die Strecke ab gleich der zugehörigen Fugenlänge $xy = h$ nimmt und sonst unter Benutzung des veränderlichen Winkels α , wie derselbe der jedesmal gewählten Fuge zukommt, und des als unveränderlich geltenden Reibungswinkels ρ ganz nach Fig. 322 verfährt.

Am einfachsten wird diese Darstellung gleich in der Stirnfläche des Gewölbes, wie Fig. 323 zeigt, selbst vorgenommen. Bei der hier gegebenen Bestimmung der einzelnen Drücke ist der Reibungswinkel ρ nur zu 15 Grad gewählt, um der durch den frischen Mörtel bewirkten wesentlichen Verminderung der Reibung zwischen den Lagerflächen Rechnung zu tragen.

Verbindet man die für mehrere Fugen gewonnenen Punkte d, e, f u. f. f., wobei die Strahlen $1, 2, 3$ u. f. f.

fämmtlich parallel zu mo geführt werden, durch einen Linienzug, so begrenzt derselbe gemeinschaftlich mit der inneren Wölblinie die Fläche $o d e f g h$ der grössten, rechtwinkelig zum Rüstbogen wirkenden Drücke. Soll mit Hilfe dieser Zeichnung der grösste auf die Fläche $E F$ kommende Druck D ermittelt werden, so ergibt sich für die Tiefe gleich der Längeneinheit nach Gleichung 164: $D = z b v$, d. h., da $z b$ die Fläche $E F G H$ darstellt, die Regel: Man bestimme die Mafszahl des Flächeninhaltes des Stückes $E F G H$ der Druckfläche und multiplicire dieselbe mit der Mafszahl des Gewichtes der Körpereinheit des Wölbmaterials, um den Werth des für die Länge $E F$ in Frage kommenden Druckes zu erhalten.

Aus der Druckfläche ergibt sich die Zunahme der rechtwinkelig zum Rüstbogen gerichteten Pressungen vom Punkte o gleich Null bis zum grössten Drucke $g h$ im Punkte h des Gewölbescheitels. Für die Construction des Rüstbogens folgt hieraus, dafs bis zum Punkte o keine Unterstützung der Wölbsteine durch diesen Bogen nothwendig wird, dafs also bis zu diesem Punkte vom Kämpfer aus, wie Fig. 319 (S. 221) zeigt, die Anordnung der Rippe sich auf einfachere verbindende Theile, vom Punkte o ab bis zum Scheitel jedoch ausser verbindenden Theilen noch auf kräftigere, stützende Constructionsglieder zu erstrecken hat.

154.
Unter-
lagerung.

Die einzelnen Rippen werden parallel zur Stirnebene des Gewölbes in Entfernungen von 1 m bis höchstens 2 m hinter einander aufgestellt. Hierzu bedürfen dieselben einer kräftigen Unterlagerung, welche als weiteres Zubehör des Lehrgerüstes auftritt. Diese Unterlagerung mufs so hergestellt sein, dafs die einzelnen Rippen während der Ausführung des Gewölbes sich nicht in merkbarem Grade senken, sich nicht verschieben oder verdrehen können. Zweckmäfsig ist eine Unterstützung, welche möglichst aus lothrecht oder aus schwach geneigten Pfosten besteht, welche dann rechtwinkelig zu den Rippen ziehende Rahmhölzer oder Holme erhalten, also in ihrem Wesen ähnlich der Anordnung einer festen Fachwerkwand erscheint. Hänge- und Sprengwerks-Constructionen zu solchen Unterstützungen zu wählen, ist deshalb weniger vortheilhaft, weil bei diesen leichter ein Zusammendrücken der verschiedenen Verbandhölzer und damit leichter das unbeabsichtigte Senken der Rüstbogen eintreten kann. Im Hochbauwesen lassen sich bei gröfseren Gewölben derartige Hänge- und Sprengwerksunterstützungen dann nicht gut vermeiden, wenn der Raum unter der Deckenbildung während der Bauzeit möglichst frei zu lassen ist. In solchen Fällen mufs in jeder Beziehung für eine kräftige Durchbildung dieser Unterstützungen gesorgt werden. Wie auch die Art der Unterstützungen sein mag, stehend oder liegend, immer müssen dieselben unter sich noch durch Längshölzer, Kreuzstreben u. f. w. abgesteift werden, um als unverschiebbares Gerippe aufzutreten.

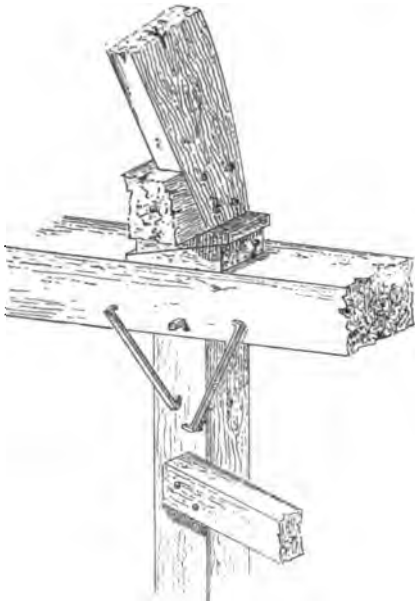
155.
Ausrüstungs-
vorrichtungen.

Von Bedeutung ist die Auflagerung der Rippen auf der darunter befindlichen Stütz-Construction.

Da die Rippen auf ihrer oberen Begrenzung eine weitere Bekleidung, die sog. Schalung, wovon gleich die Rede sein wird, aufzunehmen haben, welche in ihrer oberen Mantelfläche der Laibungsfläche des Gewölbes zu entsprechen hat, so mufs von vornherein eine genaue Aufstellung der Rüstbogen vorgenommen werden; da aber auch andererseits die Lösung der Rüstbogen nach geschehener Einwölbung leicht, allmählich, sanft und nicht stofsweise erfolgen mufs, damit nach dem veranlassenen Senken der Rippen ein etwaiges Setzen des Gewölbes ohne Nachtheil für dasselbe stattfinden kann, so sind diesen Bedingungen gemäfs die Lagerungen der Rüstbogen auszubilden.

Zu diesen Lagerungen benutzt man in vielen Fällen aus hartem Eichen-, Weifsbuchen-, Eschenholze u. f. w. angefertigte Doppelkeile mit mäfsiger Schärfe von 10 bis 15 cm Breite, 20 bis 30 cm Länge und 6 bis 10 cm Dicke (Fig. 324), welche zwischen den Holm der Unterstüttung und die Sohle der Rippe gelegt werden. Durch ein geringes Antreiben oder andererseits durch ein sanftes Lösen dieser Keile,

Fig. 324.



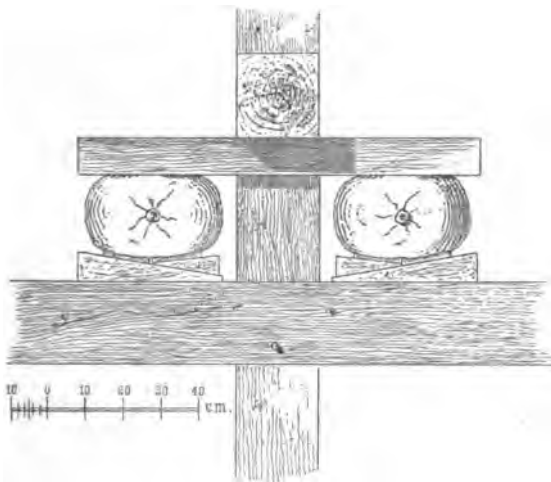
welche ab und an auch zur Verminderung der Reibung mit schwarzer Seife dünn bestrichen werden, ist ein leichtes Heben oder Senken der Rüstbogen möglich.

Außer solcher Keillagerung kommen bei größeren Gewölben auch Sandfäcke, besser Sandbüchsen oder Sandtöpfe, und unter Umständen auch Schraubenfätze zur Verwendung.

Die Sandfäcke sind aus festem Zeug, Segelleinwand oder auch aus Leder angefertigte Beutel, welche an einem Ende zugechnürt werden können. Diese Säcke werden mit ganz reinem, durchaus trockenem, feinem Sande äußerst fest gefüllt und entweder gleich beim Aufstellen der Rüstungen statt der eben bezeichneten Keile eingelegt oder erst später nach Vollendung der Wölbung zwischen Holm und Schwelle gebracht. Im letzteren Falle sind die Rüstbogen während der Wölbung durch einen Holzpfosten, auf welchem ein kurzes Lagerholz liegt, gestützt. Die

Pfosten werden nach Schluß des Gewölbes an jeder Seite von Sandfäcken (Fig. 325), die durch angeschobene kleine Holzkeile weiter gerichtet sind, umlagert und dann keilförmig eingeschnitten, so daß sie zum Umkippen gebracht werden können. Ist

Fig. 325.



dieses Umkippen erfolgt, so setzen sich die kurzen Lagerhölzer mit den Rüstbogen unmittelbar auf die Sandfäcke. Wird die Schnürung derselben vorsichtig gelöst, so rinnt der Füllsand in feinen Fäden langsam aus und die Rüstbogen senken sich in regelmäßiger, stoßfreier Weise. Unter Umständen befördert man das Ausfließen des Sandes noch durch Anrühren desselben mit Hilfe eines Eisendrahtes oder Holzpflöckes.

Die Sandbüchsen oder Sandtöpfe (Fig. 326) sind cylindrische, aus Guß- oder Schmiedeeisen angefertigte Gefäße mit Boden. In den Seitenwänden derselben sind in geringer

Entfernung über dem Boden kleine Oeffnungen angebracht, welche durch einen dünnen Holzpflöck geschlossen werden. Zur Büchse gehört weiter ein cylindrischer Stempel, welcher aus Gufseisen besteht, oder aus einem Holzkörper, welcher oben und unten mit Eisenringen beschlagen ist, hergestellt wird. In die Sandtöpfe wird wiederum eine in ihren Eigenschaften schon vorhin beschriebene Sandfüllung gebracht; die Stempel werden so aufgesetzt, daß unter denselben eine genügende Sandlage verbleibt und die so eingerichtete Büchse nach ihrer Einfügung zwischen

Holm und Schwelle eine richtige und genaue Aufstellung der Rüstbogen möglich macht.

Nach der Ausführung des Gewölbes wird das Lösen der Rüstbogen durch Ausziehen der Verschlüsse der Oeffnungen der Büchsen eingeleitet. Die Sandfüllung derselben rieselt aus, und die Senkung der Rüstbogen geht langsam vor sich. Hierzu ist aber vollständige Trockenheit des reinen Sandes nothwendig, da derselbe, feucht geworden und durch die Belastung gepreßt, sich zusammenballt und nicht ausfließt, selbst wenn durch Nachhelfen mittels eines Eisendrahtes dieses Fließen befördert werden sollte. In solchem Falle müssen die Sandtöpfe mit stark erwärmten Sandbeuteln umlegt werden, um hierdurch den Sand in den Büchsen wieder in möglichst trockenen Zustand zu setzen. Offenes Feuer darf selbstverständlich zum Trocknen des Büchsenfandes nicht in Anwendung kommen.

Die Schraubensätze sind einfache Hebeschrauben. Die in Fig. 327 gegebene Hebeschraube steht zwischen dem Holme des Untergerüsts und der Schwelle des Rüstbogens, während bei der in Fig. 328 dargestellten Schraube die Schraubenmutter *a* in der Schwelle befestigt, die Schraubenspindel weiter jedoch durch eine Oeffnung derselben geführt wird. Im Holm des Rüstbogens ist die Scheibe *b* verlegt, gegen welche der Dorn des Kopfendes der Spindel tritt. Durch entsprechendes Andrehen der Schraubenspindel erfolgt ein Heben oder Senken des Rüstbogens.

Derartige Schraubensätze werden bei größeren Gewölben auch wohl gemeinschaftlich mit Doppelkeilen angewandt. Sind die letzteren beim Aufstellen der Rüstbogen genau eingefügt, so werden die Schraubensätze seitlich von denselben aufgestellt. Nach dem Einwölben werden die Schrauben mäßig angedreht, um die Rüstbogen in geringem Maße zu heben und dadurch die Keile etwas zu lüften. Nach dem nunmehr mühelosen Entfernen der Keile ruhen die Rüstbogen nur noch auf den Schraubenätzen, welche für die jetzt vollständig zu beherrschende Senkung der Rüstbogen in Thätigkeit gesetzt werden können.

Bei besonders großen Gewölben des Hochbauwesens ist der Wölbkranz der Rüstbogen nicht aus Bohlen hergerichtet, die unmittelbar mit dem Stützenwerk fest verbunden sind, sondern aus sog. Kranzhölzern *k* (Fig. 329) von etwa 2^m Länge und genügender Stärke angefertigt, welche in Auschnitten (Scheren) ihrer Stützen liegen und durch Doppelkeile, wie Fig. 329 zeigt, unterlagert sind.

Fig. 326.

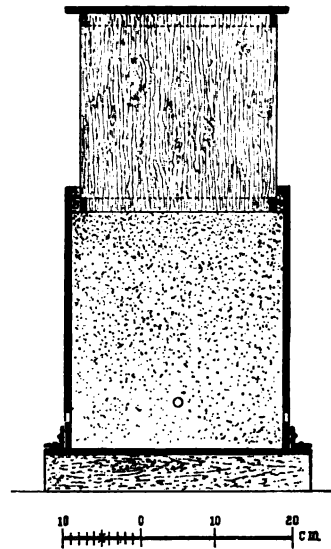


Fig. 327.

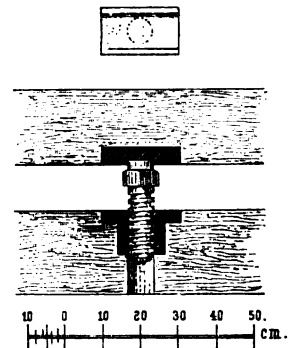


Fig. 328.

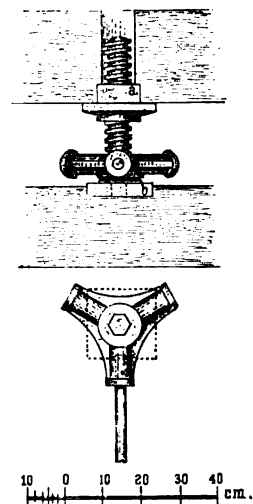
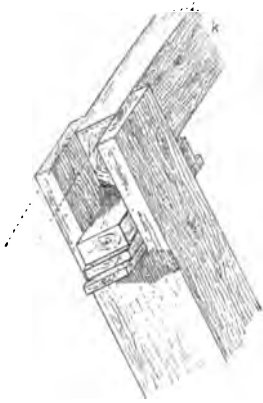


Fig. 329.



Bei folcher Anordnung ist die Senkung der Kranzhölzer durch Lockern der Keile allein schon zu beschaffen.

Den oberen Abschluß der Rüftbogen bildet die Schalung. Hierunter versteht man einen Belag aus Bohlen, Schalbrettern oder aus Latten, Gewölbelatten, welche in ihrer oberen Fläche eine der Laibung des Gewölbes genau entsprechende Mantelfläche liefern. Die Bohlen werden dicht neben einander gelegt, während die Latten mehr oder weniger breite Fugen zwischen sich lassen.

156.
Schalung.

Die Rüftbogen sind die Träger der Schalung, welche rechtwinkelig über diese Bogen hinwegzieht. Die Bohlen erhalten im Allgemeinen keine weitere ausgiebige Befestigung mit den Rüftbogen. Dieselben werden meistens nur an ihren Enden mit dünnen Drahtstiften geheftet. Die Scheitelbohle wird unter Umständen mehrfach geheftet, da hierdurch schon ein seitliches Verschieben der Rüftbogen gegen einander mit vermieden wird. Die Latten werden jedoch zweckmäßig mit Drahtstiften aufgenagelt. Alle diese Befestigungen müssen aber nach dem Ausrüften, also nach dem Senken der Rüftbogen mühelos in einfachster Weise gelöst werden können. Zur Vermeidung einer unregelmäßigen Gestaltung der inneren Wölbfläche während der Ausführung muß die Schalung so stark fein, daß dieselbe sich bei ihrer Belastung durch die Wölbsteine überall in bemerkbarer Weise nicht durchbiegt. Je nach dem Abstände der Rüftbogen von einander erhalten die 20 bis 25 cm breiten Bohlen eine Stärke von 3 bis 5 cm. Die Gewölbelatten besitzen meistens einen quadratischen Querschnitt, dessen Seitenlänge zwischen 5 bis 15 cm schwankt.

Backstein- und Bruchsteingewölbe, so wie auch schiefe Gewölbe erhalten meistens und auch zweckmäßig eine geschlossene Bohlenverschalung. Quadergewölbe jedoch werden fachgemäß auf einer Lattenschalung ausgeführt. Hierbei unter-

Fig. 330.

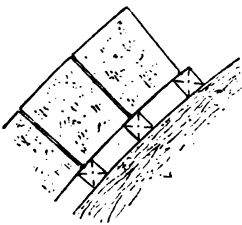


Fig. 331.



scheidet man die Schalung mit sog. halben Latten (Fig. 330) und Schalung mit sog. ganzen Gewölbelatten (Fig. 331). Bei der ersteren liegt eine Schallatte mitten unter jeder Lagerfuge von zwei zusammentretenden Wölbsteinen. Diese Anordnung ist beim Versetzen der Steine vorteilhaft, gestattet aber ein Beobachten der Lagerfugen von unten aus nicht, und daher ist die zweite Art der Lagerung der Schallatten

mitten unter jedem Wölbstein, wonach ein genaues Verfolgen der geraden Richtung der Lagerfugenkanten von unten aus möglich wird, bei Quadergewölben vorzuziehen.

Auf der Schalung, gleichgiltig ob Bohlen- oder Lattenschalung vorhanden ist, wird die Theilung des Gewölbes durch Blei- oder Kohlenriffe vor Beginn der Wölbung vorgenommen. Je sorgfältiger diese Theilung stattgefunden hat, um so leichter und besser ist die Ausführung des Gewölbes zu beschaffen und zu überwachen.

Die Einwölbung selbst beginnt unter Beobachtung eines sorgfältigen Annähens der Wölbsteine gleichzeitig vom Widerlager aus und geht regelmäÙig und in Bezug

157.
Einwölbung.

zur Scheitellinie symmetrisch weiter bis zur letzten Schicht, der Schlussteinschicht. Durch zweckmäßige Vertheilung des zu benutzenden Wölbmaterials auf der Schalung, bzw. auf besonderen an den Rüftbogen geschaffenen Belastungsböden, für welche die vorhandenen wagrechten Verbindungshölzer der Rippen als Unterlager dienen können, ist man bestrebt, die Ungleichmäßigkeit in der Belastung und die hierdurch bewirkte Formveränderung der Gerüst-Construction während des Einwölbens thunlichst zu beseitigen.

Beim Einsetzen der Schlussteinschicht ist mit Vorsicht zu verfahren. Scharfes Eintreiben der Steine dieser Schicht durch mit Erschütterungen verknüpfte Stöße ist zu vermeiden, weil hierdurch nicht allein eine unangenehme Wirkung für das Lehrgerüst, sondern auch leicht ein Zerspringen der Mörtelbänder oder gar einzelner Steine herbeigeführt wird. Bei guter und aufmerksam vorgenommener Wölbungsarbeit bleibt für die Schlussteinschicht die genau bemessene Lücke übrig, welche alsdann voll und regelrecht durch die zugehörigen Wölbsteine gefüllt werden kann. Häufig wird die Schlussteinschicht erst trocken vermauert, bzw. verfetzt und dann in den engen Fugen mit einem Cementmörtel vergossen, wobei zu beachten ist, daß dieser Mörtel die Fugen vollständig füllt. Dieses Verfahren ist immerhin zu empfehlen, da hierdurch alle Erschütterungen des Gewölbkörpers vermieden werden.

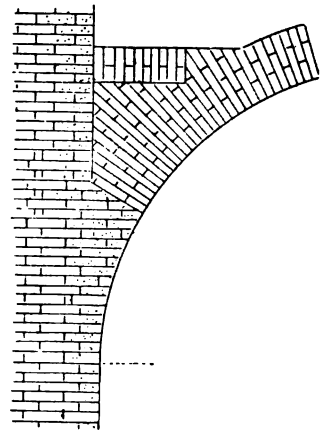
Nach der Vollendung des Gewölbes ist immer noch eine Prüfung der Fugen auf der Rückenfläche desselben vorzunehmen. Etwa vorhandene offene Stellen derselben sind mit Mörtel zu dichten. Sehr zweckmäßig erfolgt hierauf ein Uebergießen der ganzen Rückenfläche mit einem dünnflüssigen Kalk- oder besser Cementmörtel, welche mit Hilfe eines Reißigbrens in einer dünnen Schicht ausgebreitet wird. Hierdurch werden etwa in den Fugen noch vorhandene Lücken gleichzeitig mit ausgefüllt. Nachdem dieses geschehen, ist eine Ausmauerung der Gewölbezwickel, bzw. ein Ausfüllen derselben mit Grobmörtel (Beton) vorzunehmen. Letztere Ausfüllung ersetzt jedoch die Ausmauerung nicht vollständig und sollte deshalb nur bei kleinen Gewölben in Anwendung kommen.

Zum Theile kann die Hintermauerung der Zwickel auch nach Fig. 332 gleich bei der Ausführung des Gewölbes im Wölbverbande mit hergestellt werden.

Von jeher hat die Frage, wann die Ausrüstung des geschlossenen Gewölbes, d. h. die Senkung der Rüftbogen, bzw. die Entfernung derselben geschehen soll, eine Rolle gespielt. Von einer Seite wird die sofortige Ausrüstung der Gewölbe nach ihrer Vollendung, von anderer Seite die Ausrüstung nach einiger Zeit, welche dem Fugenmörtel bereits eine Erhärtung gestattet hat, empfohlen.

Wird die Ausrüstung sofort nach der Vollendung des Gewölbes vorgenommen, so ist der Mörtel noch weich; die Wölbsteine pressen sich an einander und bewirken, namentlich in der Nähe der Bruchfugen, ein Hervorquellen des Mörtels aus den Lagerfugen. Das Gewölbe vermag sich bei sonst entsprechender Anordnung, durch den Mörtel wenig beeinflusst, allerdings in den Gleichgewichtszustand zu setzen; aber die wünschenswerthe Eigenschaft, daß der in seinen Wölbsteinen durch Mörtel verbundene Wölbkörper sich thunlichst einem elastischen Bogen mit geschlossener Wand

Fig. 332.



nähern möge, wird hierdurch ohne Weiteres nicht hervorgerufen. Sind die Gewölbe nur mit Kalkmörtel gemauert, so ist bei sofortiger Ausrüstung das Ausquillen der Fugen oft recht stark bemerkbar; weniger stark zeigt sich dieses Hervorquillen bei Verwendung von verlängertem Cementmörtel oder reinem Cementmörtel. Mit einer Verminderung und Zusammenpressung der Mörtelbänder in den Lagerfugenflächen ist offenbar eine Verkürzung der Bogenlänge und eine Formveränderung des Gewölbes, das sog. Setzen desselben, verbunden, und es dürfte einleuchtend sein, daß, je mehr das Zusammenpressen der noch weichen Mörtelbänder sich geltend macht, desto größer auch das Setzen oder die Senkung des Gewölbes sein muß. Solche Senkungen sollen aber bei jedem Gewölbe auf das möglichst geringste Maß beschränkt werden, und somit folgt, daß, zur Vermeidung starker Zusammenpressungen der Mörtelbänder, dem Mörtel selbst eine gewisse Zeit zu seiner Erhärtung und zu seinem Verbinden mit den Wölbsteinen zu lassen ist. Daß durch die innigere Verbindung des Mörtels mit den Wölbsteinen eine größere Standfähigkeit erzielt werden muß, lehren die Gewölbe früherer Zeit, welche einem Abbruche unterworfen werden mußten. Konnte doch oft bei solchen Gewölben die Schlusssteinschicht ihrer ganzen Länge nach beseitigt werden, ohne daß die Gewölbschenkel nach innen einstürzten; konnten doch oft diese Gewölbschenkel selbst nur durch Zerstören mittels kräftiger Sprengungstoffe beseitigt werden! Die Wölbsteine waren vollständig verkittet; das Gewölbe war ein in sich nahezu gleichartiger Körper; von einem Senken dieses Körpers oder der Erscheinung klaffender Fugen kann keine Rede mehr sein.

Durch diese Gesichtspunkte gelangt man in logischer Weise zu dem Ergebniss, daß eine sofortige Ausrüstung derjenigen Gewölbe, bei welchen, wie bei Backstein- oder Bruchsteingewölben, die Mörtelbefügung immer eine Bedeutung annimmt, weniger rathsam ist, als die nach einiger Zeit nach Schluß des Gewölbes vorgenommene Ausrüstung. Der Gewölbkörper muß eben durch die Verkittung mit Mörtel seine ihm ursprünglich angegebene Form in besserer Weise beibehalten, als solches bei sofortiger Ausrüstung möglich ist, muß weniger Senkung aufweisen und muß im Allgemeinen, weil die Annäherung an einen vollwandigen Bogen, abgesehen davon, daß derselbe mehr oder weniger elastisch ist, in höherem Maße erfolgt, in seiner Standfähigkeit eine Verbesserung erfahren. Wenngleich nun im Hochbauwesen in den meisten Fällen das Entfernen der Wölbgerüste in möglichst kurzer Zeit wird angestrebt werden müssen, da schnelles Vorwärtskommen im Bau oft angezeigt erscheint, so möge unter Berücksichtigung aller Einflüsse, welche, wie feuchte Luft, Windzug u. f. f., die Erhärtung der Mörtelbänder zurückhalten oder beschleunigen können, doch darauf Bedacht genommen werden, ein zu frühzeitiges Ausrüsten der Gewölbe zu vermeiden. Wenngleich nun eine geraume Zeit verfließen muß, bevor alle Mörtelbänder, die in ihren Rändern früher erhärten, als in ihrer Mitte, eine nahezu gleiche Pressbarkeit und nahezu gleiche Binfähigkeit erhalten, so kann man als Regel gelten lassen, kleine Gewölbe erst etwa nach 2 bis 3 Tagen, große Gewölbe nach 4 bis 6 Tagen und Gewölbe bis etwa 8^m Spannweite erst nach 8 Tagen auszurüsten. Noch größere Gewölbe lasse man so lange als möglich unausgerüstet. Bei geringer Fugenstärke von 1^{cm} und gut und rasch bindendem Mörtel kann die Zeit bis zur vorsichtig vorzunehmenden Ausrüstung herabgesetzt werden.

Bei Quadergewölben tritt, wie schon früher erwähnt, die Mörtelung mehr in den Hintergrund. Demnach können solche Gewölbe ein sofortiges Ausrüsten nach ihrer Vollendung schon leichter ertragen.

In jedem Falle ist das Ausrüsten der Gewölbe in ruhiger, vorsichtiger Weise vorzunehmen, damit eine Schädigung sowohl des Gewölbes, wie auch der Gerüsththeile vermieden wird.

Im Allgemeinen zeigt ein jedes Gewölbe nach der Ausrüstung eine mehr oder weniger bemerkbare Senkung. Je sorgfältiger die Ausführung, je besser das benutzte Material war, um so geringer tritt solche Senkung auf.

159.
Senkung.

Die Angaben über das muthmaßliche Senken der Gewölbe sind von vornherein im höchsten Maße ungenau, so daß dieselben besser unterbleiben.

Das über die Rüstung bei Tonnengewölben Gefagte findet im Wesentlichen bei allen solchen Gewölben oder besonderen Gewölbtheilen Anwendung, die nicht eine sog. Einwölbung aus freier Hand zulassen. Letzteres ist bei Gewölben mit sphärischen oder sphäroidischen Laibungsflächen der Fall. Bei diesen tritt dann die Unterstützung durch Lehrgerüste für die Einwölbung entweder gar nicht oder in bedeutender Einschränkung ein.

160.
Rutschbogen.

Bei Gewölben von kleinerer Spannweite, aber verhältnismäßig bedeutender Länge wird unter Umständen auch eine Vereinfachung und billigere Herstellung des gesammten Lehrgerüsts durch Anwendung eines sog. Rutschbogens oder Schlittens erzielt.

Unter einem Rutschbogen (Fig. 333) versteht man einen kurzen, seitlich lothrecht, oben nach der Wölbungsform geschlossen, unten aber offenen, hölzernen Kasten, welcher auf den stützenden Rahmen oder Holmen des Unterstützungsgerüsts nach und nach dann weiter vorgerückt werden kann, sobald über dem Rutschbogen ein kurzes Stück des Gewölbes ausgeführt ist. Selbstverständlich ist die richtige Aufstellung und das ruhige Lösen solcher Rutschbogen mit Hilfe von Doppelkeilen zu bewirken.

Fig. 333.



Damit die einzelnen Zonen, welche in ihrer Breite der Länge des Schlittens entsprechen, bei dem ganzen Gewölbe im Verband bleiben, ist die Stirn jeder Zone, die für sich im Gewölbeverband gemauert wird, auf Verzahnung zu ordnen. Die Länge des Schlittens darf höchstens 80 cm betragen, weil bei größerer Länge desselben die Ausführung der Wölbung für die vor dem Rutschbogen stehenden Maurer und auch das Vorrücken desselben unbequem wird.

Da nach der Vollendung jeder Zone bei der Anwendung des Rutschbogens eine sofortige Ausrüstung derselben eintreten muß, so ist die Einwölbung sehr sorgfältig, unter Benutzung eines möglichst schnell bindenden und erhärtenden Mörtels auszuführen.

161.
Ausführung
neben
einander
gelegener
Gewölbe.

Liegen zwei oder mehrere Tonnengewölbe, bezw. Gewölbe überhaupt mit gemeinschaftlichen Widerlagern, mögen dieselben als Mauerwerkskörper, als Bogenstellungen oder als besondere eiserne Träger construirt sein, in Reihen oder sog. Jochen mit ihren Axen neben einander, so ist zu beachten, daß diese Zwischenwiderlager an sich in den seltensten Fällen eine solche Stärke erhalten, um dem

einseitigen Schube mit Sicherheit Widerstand leisten zu können. Zur Vermeidung der Verschiebungen dieser Zwischenconstructions und zur Verhinderung des damit leicht eingeleiteten Einsturzes der Gewölbe ist es immer am zweckmäßigsten, die sämtlichen Gewölbejoche mit den nöthigen Wölbegerüsten vollständig zu versehen und die Einwölbung in allen Jochen gleichzeitig, gleich liegend und gleichmäßig fortschreitend vorzunehmen. Kann man der größeren Kosten wegen eine solche vollständige Herrichtung der Lehrgerüste für alle Joch nicht ausführen, so wird erst nur für ein Joch entweder das ganze Gewölbe oder eine gewisse Länge desselben mit dem nothwendigen Lehrgerüste versehen und eingewölbt, dann das angrenzende Joch in gleicher Weise in Angriff genommen und so bis zur Vollendung der ganzen Anlage fortgefahren. In solchen Fällen ist aber eine gründliche und kräftige Absteifung der Zwischenwiderlager der nicht mit Lehrgerüsten versehenen Joch oder Abtheilungen derselben unbedingt erforderlich, da bei Vernachlässigung dieser Forderung leicht die Gefahr des Einstürzens der fertigen Gewölbtheile eintreten kann.

Die Ausführung der geraden Tonnengewölbe aus Backstein erfordert in erster Linie die Berücksichtigung eines richtigen Mauerverbandes in den einzelnen Schichten und eine bestimmte Eintheilung der Wölbschichten im Stirnschnitte des Gewölbes, wonach stets eine ungerade Anzahl gleich großer Abstände für die einzelnen Wölbscharen entstehen soll. Jede Wölbschicht erscheint keilförmig; die Lagerfugen stehen senkrecht zur Wölblinie, selten rechtwinkelig zu einer bestimmten Bedingungen gemäß construirten Mittellinie des Druckes.

Für den Mauerverband der Wölbschichten gelten die für den Steinverband der Backsteinpfeiler mit rechteckiger Grundfläche gegebenen allgemeinen Regeln, wonach meistens zwei verschieden angeordnete, neben einander liegende Wölbschichten im Verbandwechsel auftreten. In Fig. 334 sind für ein Stück eines $1\frac{1}{2}$ Stein starken Tonnengewölbes die Verbände in den Schichten 1 und 2 dargestellt, wobei nament-

162.
Tonnengewölbe
aus
Backsteinen.

Fig. 334.

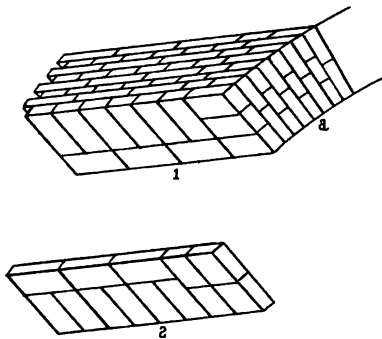
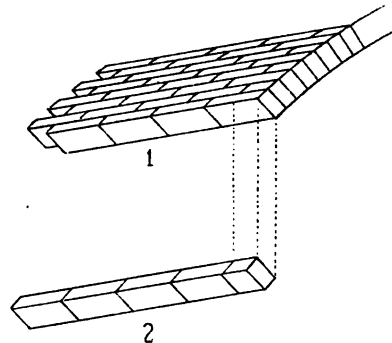


Fig. 335.



lich der Anfang der Wölbschichten an der Stirnmauer des Gewölbes durch regelrechtes Einfügen von Dreiviertelsteinen zu beachten ist. Die Stoßfugen in Schnitten parallel zur Stirn sind innerhalb des Gewölbkörpers *a* im Verbandwechsel stehende, concentrisch zur Wölblinie laufende Bänder, während dieselben auf der Laibungs- und Rückenfläche im Verbandwechsel mit der Stirnlinie gleichlaufend sind. Diese Einwölbungsart wird häufig als »auf Kuf gewölbt« bezeichnet. Bei einem nur $\frac{1}{2}$ Stein starken, auf Kuf gemauerten Tonnengewölbe sind alle Wölbscharen Läufer-schichten, deren Stoßfugen gegenseitig um $\frac{1}{2}$ Steinlänge im Verbandwechsel stehen

(Fig. 335), während bei 1 starken Tonnengewölben die neben einander liegenden Wölb-schichten nach Fig. 336 angeordnet werden.

Bei Tonnengewölben, deren Stärke über $\frac{1}{2}$ Steinlänge beträgt, wird zur Erzielung keilförmiger Wölb-scharen in den meisten Fällen ein Zuhauen der Backsteine erforderlich. Hierbei ist auf der Rückenlinie des Gewölbes die Stärke der Wölb-schicht der Backsteindicke gleich zu lassen, so daß die Zuschärfung der Steine nach der Laibungsfläche gerichtet ist. Wollte man fog. Lochsteine zum Einwölben verwenden, so ist ein Zuhauen derselben mißlich. Durchaus verwerflich ist die Anordnung stark keilförmig genommener Mörtelbänder als Lagerfugen, welche dann an der Laibungsfläche dünn, an der Rückenfläche jedoch oft unverhältnismäßig dick auftreten, um hierdurch ein Zuhauen der Wölbsteine zu umgehen. Am besten ist die Verwendung fertig gebrannter keilförmiger Bärnsteine, deren Gestaltung von vornherein dem auszuführenden Tonnengewölbe entsprechend gebildet wurde.

Bei sehr starken Tonnengewölben ist die in Art. 149 (S. 218) erwähnte und näher besprochene Einwölbung, bestehend aus einzelnen Schalen oder Ringen, geeignet, um ein Zuhauen der Steine aller Wölb-schichten zu vermeiden.

Für weniger starke oder auch für sehr lange, sonst selbst stärker bemessene Tonnengewölbe aus Backstein ist das Anbringen von Verstärkungsrippen oder Gurten *a* (Fig. 337), welche bei kleineren schwächeren Gewölben in Abständen von 1,5 bis 2,0 m, bei stärkeren Gewölben in Weiten von 3,0 bis 4,0 m wiederkehren und mit dem Gewölbkörper *b* nach der Anordnung der Schichten 1 und 2 im Verbande stehen, zu empfehlen. Diese Rippen können entweder an der Laibungsfläche oder an der Rückenfläche vortreten. Im ersteren Falle ist beim Aufstellen der Rüstbogen des Gewölbes aber für diese Gurte eine besondere Einrüstung notwendig, was, als weniger bequem, im letzteren Falle vermieden wird.

Bei schwächeren Gewölben treten diese Rippen als wirkliche Gewölbverstärkungen und zuweilen als Träger von Unterlagen der über dem Gewölbe befindlichen, nur leicht zu belastenden Fußböden auf, während bei größeren, langen Tonnengewölben diese Rippen, wenn dieselben unten an der Laibungsfläche vorspringen, eine dem Auge angenehme Gliederung der Gewölbfläche bewirken und bei langen Gewölben mit wagrechter Scheitellinie den Eindruck verwischen, als ob diese Scheitellinie sich nach unten gefenkt hätte. Hier möge bemerkt werden, daß die in vielen Lehrbüchern aufgenommene und häufig wiederkehrende Angabe, wonach Tonnengewölbe bis zu 4 m Spannweite, welche keine weitere Belastung, als höchstens diejenige der Fußböden gewöhnlicher Wohnräume aufzunehmen haben, nur $\frac{1}{2}$ Stein Stärke, bei größerer Spannweite Verstärkungsrippen von 1 Stein Breite und Höhe in Entfernungen von 1,5 bis 2,0, bezw. 2,5 m und erst bei 6 m Spannweite 1 Stein Stärke nebst Verstärkungsrippen von $1\frac{1}{2}$ Stein Höhe und Breite erhalten sollen, mit größter

Fig. 336.

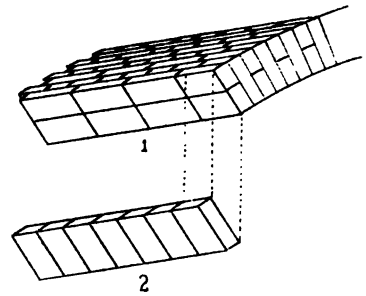
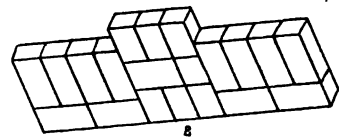
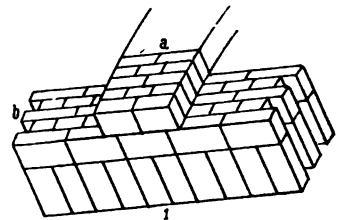
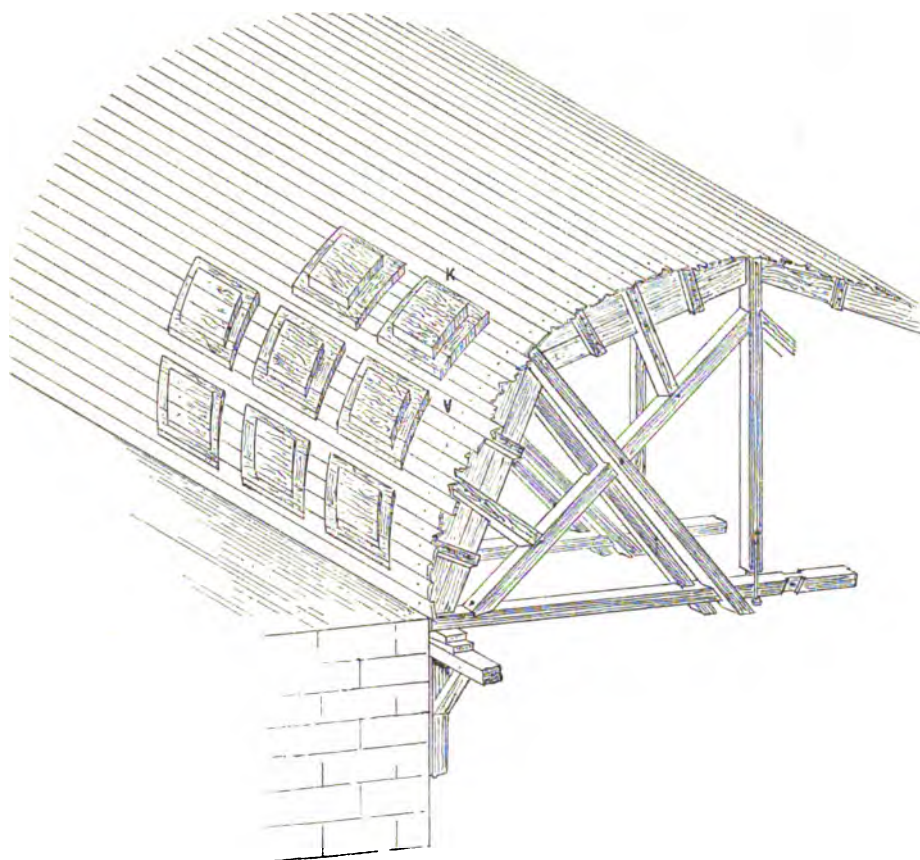


Fig. 337.



Voricht zu betrachten ist. Bei derart schwach ausgeführten Tonnengewölben müssen neben ausgezeichneter Arbeit vorzügliches Steinmaterial und vortrefflichster Mörtel zur Geltung kommen, und dennoch treten in diesen Tonnengewölben schon bei 4^m Spannweite leicht Verdrückungen, selbst bei guter Ausmauerung der Zwickel, auf. Die Weite von 4^m wird besser auf höchstens 3^m beschränkt. Auch ist zu berücksichtigen, daß, wenn überhaupt über dem Gewölbe ein Fußboden hergerichtet ist, derselbe unter Umständen mit weit stärkerer Belastung versehen wird, als solche bei der Bezeichnung »Belastung gewöhnlicher Wohnräume« ursprünglich angenommen

Fig. 338.



war. Die Decken-Construction soll aber in jedem Falle bei der möglichst ungünstigsten Beanspruchung standfähig sein, und hiernach ist, wie früher gezeigt, die statische Untersuchung zu führen und die Gewölbstärke sowohl für die Gurte, wie für das Gewölbe selbst zu bestimmen.

Wird ein Backsteingewölbe nach der Widerlagsfuge hin verstärkt, so soll diese Verstärkung vom Scheitel bis zum Gewölbfusse stetig und ohne scharfe Absätze erfolgen, selbst wenn hierbei ein mäßiges Verhauen und Kürzen der Wölbsteine an der Rückenfläche des Gewölbes vorzunehmen ist; denn hierdurch wird ein günstigerer Verlauf der Mittellinie des Druckes erzielt.

Dem Einwölben mit Backstein »auf Kuf« steht die allerdings mehr bei flach-

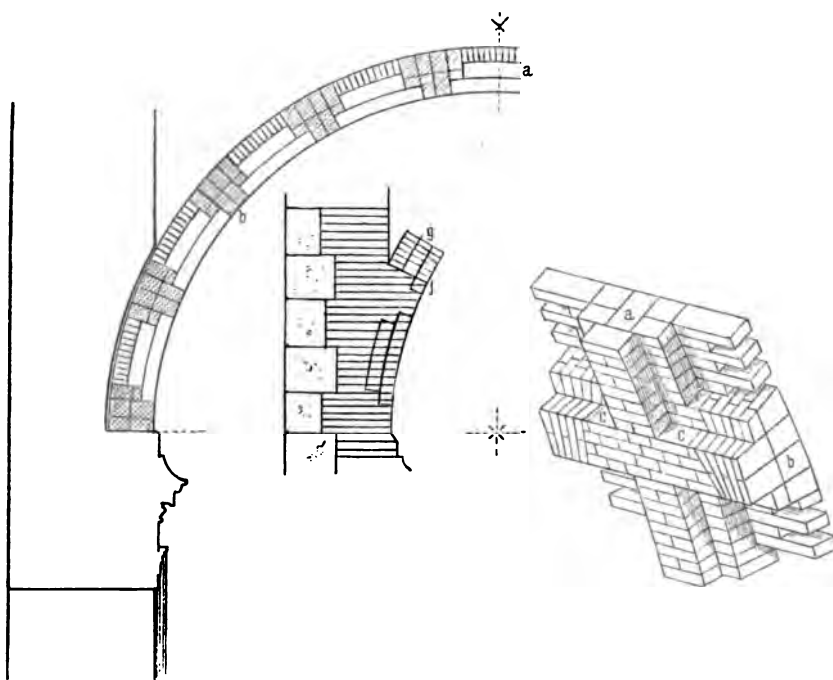
bogigen Gewölben angewandte Verbandart »auf Schwalbenschwanz« oder »auf Stich« gegenüber. Diese soll bei den Kappengewölben näher besprochen werden.

163.
Cassettirte
Tonnengewölbe.

Um die Laibungsfläche eines Tonnengewölbes, abgesehen von einem Schmuck durch Bemalung, schon in der Construction selbst architektonisch zu gliedern und reicher zu gestalten, verfährt man das Gewölbe mit künstlerisch geformten und regelrecht geordneten, durch staffelartig angelegte Umrahmungen begrenzte Füllungen, Vertiefungen oder mit fog. Cassetten.

Bei der Ausführung derartiger cassettirter Tonnengewölbe werden nach Fig. 338 auf der vollständigen Verschalung *V* der Wölbbogen, der Cassettenanordnung entsprechend, Holzkasten *K* befestigt, so daß hierdurch die Grundlage für die Mauerung des Gewölbes geschaffen ist. Diese Holzkasten sind nach oben schwach verjüngt, also als mälsig abgestumpfte Pyramiden zu bilden, damit beim Lösen des Wölb-

Fig. 339.



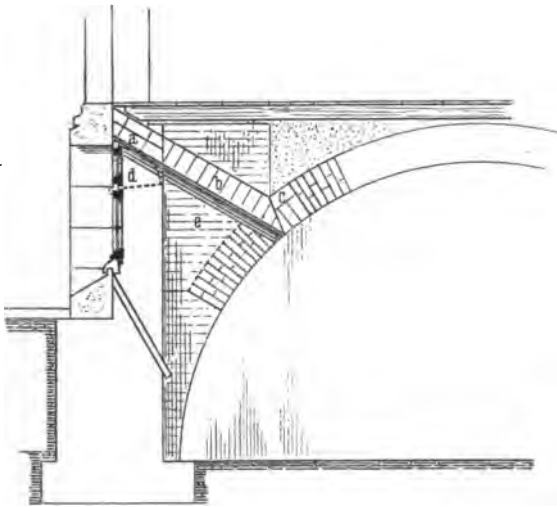
gerüstes ein leichtes Nachfolgen der Cassettenkisten und kein Hängenbleiben derselben im Gewölbe stattfinden kann. In sehr zweckmäßiger Weise können nach einem von *Moller* angegebenen Verfahren nach Fig. 339 die Querrippen *a* der Cassetten als Stücke von Tonnengewölben, die Längsrippen *b* als Bestandtheile des Gewölbes in der Anordnung eines die Querrippen verspannenden scheinbaren Bogens ausgeführt werden, wobei das Zwischenstück *c* ordnungsmäßige Widerlagsflächen zu bieten hat. Der obere Abschluß der Cassetten kann dabei in der Anordnung entweder derjenigen eines $\frac{1}{2}$ Stein starken Tonnengewölbes oder eines $\frac{1}{2}$ Stein starken scheinbaren Gewölbes entsprechen. In Fig. 339 ist die erste Einwölbungsart beibehalten.

Soll ein cassetirtes Tonnengewölbe bis zu einer um etwa 60 Grad zum Scheitellothe geneigten Fuge *f*, welche dann zweckmäßig mit der unteren Fugen-

richtung der Cassette *g* zusammenfällt, ein wagrecht vorgemauertes Widerlager erhalten, so ist, wie Fig. 339 zeigt, auch die tiefste Cassette in wagrechter Schichtenmauerung auszuführen.

Da bei Tonnengewölben an und für sich die Pfeilhöhe ein beträchtliches Maß erreicht, also die Constructionshöhe, einschl. der Gewölbstärke und der Höhe bis zur Oberkante des darüber befindlichen Fußbodens ziemlich groß wird, da ferner die Stirnmauern der Tonnengewölbe häufig nicht für die Anlage von Oeffnungen zur Beleuchtung durch Tageslicht bei den mit Tonnengewölben zu überdeckenden Räumen benutzt werden können, so sind bei beschränkter Constructionshöhe derartige Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern des Gewölbes anzubringen. Diese Lichtöffnungen sind bei den meisten Anlagen in ihren oberen Begrenzungen weit über dem Gewölbefuß abzudecken. Für die Breite dieser Lichtöffnungen muß im Tonnengewölbe freier Platz geschaffen, also das Gewölbe selbst gleichsam an diesen Stellen ausgeschnitten werden. Nach der Annahme dieses Ausschnittes würde aber für die

Fig. 340.



Weite desselben ein Widerlager des angrenzenden Gewölbtheiles fehlen. Für dieses Widerlager ist ein selbstständiger Gewölbtheil, der sog. Kranz *c* (Fig. 340), in das Hauptgewölbe einzufügen, und ferner ist zum oberen Abchluss der zwischen dem Gewölbekranz und der Lichtöffnung *d* verbleibenden Oeffnung ein besonderes kleines Gewölbe, eine sog. Stichkappe *b*, welche in das Hauptgewölbe gesteckt wird, herzustellen. Die an beiden Seiten der Oeffnung, dem sog. Ohr, zu bewirkende Abschließung wird durch lothrecht aufgeführte, auf dem Hauptgewölbe ruhende, $\frac{1}{2}$ bis 1 Stein starke Wangenmauern erzielt. Größtentheils gehören diese Wangen

164.
Tonnen-
gewölbe
mit
Stichkappen.

schon der Hintermauerung der Gewölbe in den Zwickeln an und sind dann, wenn diese zu $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Gewölbhöhe ausgeführte Hintermauerung die Oeffnung des Ohres noch nicht schließen sollte, stets entsprechend höher zu führen. Ist, wie in Fig. 340 angenommen, auch der Mauerbogen *a* der inneren Laibung der Lichtöffnung geneigt anzulegen, so folgt derselbe in seiner Neigung meistens der Neigung der Stichkappe *b*.

Schon in Art. 133 (S. 161) ist der Stichkappen bei Tonnengewölben gedacht worden.

Hinsichtlich der Ausführung dieser Stichkappen ist zu bemerken, daß man Stichkappen, deren Laibungen einer Cylinder-, Kegel- oder Kugelfläche angehören, von einander zu unterscheiden hat. Vorzugsweise werden die cylindrischen oder kegelförmigen, seltener die kugelförmigen Stichkappen in Anwendung gebracht. Bei den ersten beiden kann die Axe der zugehörigen Cylinder- oder Kegelflächen eine wagrechte oder geneigte, nach unten oder nach oben gerichtete gerade Linie sein. Bei kugelförmigen, bezw. Kugel-Stichkappen liegt der größte Kreis der Kappenfläche

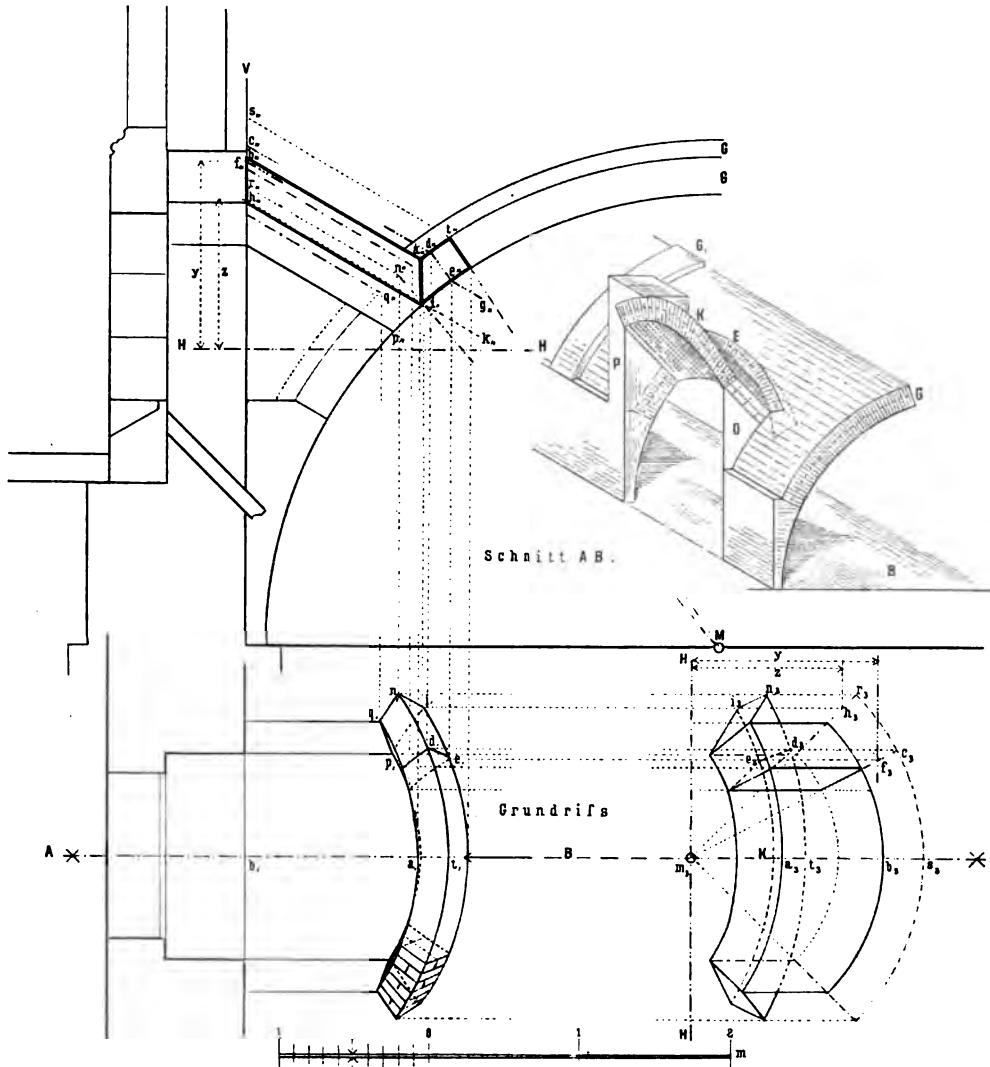
meistens und auch zweckmäßig tiefer, als der tiefste Punkt der inneren Kranzlinie an der Laibung des Hauptgewölbes.

165.
Cylindrische
Stichkappen.

In Fig. 341 ist die Ausmittlung einer cylindrischen Stichkappe mit geneigter Axe nebst dem Gewölbekranze, so wie ein Bild der ganzen Anordnung gegeben.

Im Bilde sind B die Kämpferebene des Tonnengewölbes, G das Gewölbe, K die cylindrische, nach dem Gewölbe geneigte Stichkappe und E der Kranz, welcher das Widerlager für das Gewölbe der Breite

Fig. 341.



der Stichkappe entsprechend bildet; gegen denselben lehnt sich die Stichkappe. O ist das Ohr und P die Wange der Stichkappe; G_1 ist ein Verstärkungsgurt des Hauptgewölbes.

Die Leitlinie der Stichkappe ist ein Kreisbogen mit dem Halbmesser z , dessen Mittelpunkt in der wagrechten Ebene HH und der lothrechten Ebene V liegt. Derselbe ist in der Hilfsfigur K mit dem Halbmesser $m_3 d_3 = z$ geschlagen. Die Rückenlinie ist der mit dem Halbmesser $m_3 b_3 = y$ beschriebene, durch b_3 gehende concentrische Kreisbogen. Die Neigung der Cylinderaxe der Stichkappe ist durch die dieser Axe parallele Erzeugende h, i, j , gegeben.

Setzt man im Schnitte AB , nachdem b, a, j , parallel zu h, i, j , bis zur Rückenlinie des Gewölbes gezogen ist, die obere Stärke a, i, j , des Kranzes so fest, daß die untere in der Wölbfläche liegende Stärke

desselben etwa 1 Stein, bei kleineren Gewölben $\frac{1}{2}$ Stein beträgt, dafs bei stark nach unten gerichteter Stichkappe $a,,t,,$ selbst gleich diesen Abmessungen genommen wird, so ist durch die von $t,,$ nach M geführte Gerade und durch die Linien $t''a''$ und $a''i''$, so wie ein Stück der inneren Wöblinie des Hauptgewölbes, gleich der unteren Stärke des Kranzes, begrenzte Figur der in der lothrechten Ebene AB liegende Querschnitt des Kranzes.

Legt man durch i'' eine Erzeugende $t''s''$ parallel zu der Cylinderaxe, bezw. zu $h,,i,,$, so gehört dieselbe einem ideellen Cylinder an, dessen Leitlinie der um m_3 in der Hilfsfigur beschriebene Kreisbogen mit dem Halbmesser m_3s_3 ist, wobei s_3 hier so hoch über HH liegt, wie die Lage von $s,,$ im Schnitte AB über HH ergeben hat.

Sind somit für die Stichkappe und für den Kranz die nöthigen Cylinderflächen bestimmt, so lassen sich mit Hilfe der darstellenden Geometrie auf leichte Weise auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege die sämtlichen Begrenzungslinien des Kranzes, welche als Durchschnittslinien der einzelnen cylindrischen Flächen mit den unteren und oberen Flächen des Tonnengewölbes auftreten, in den drei hier gewählten Projectionen bestimmen. Die von $p,$ und $i,$ auslaufenden Curven gehören der inneren Wöblfläche, die von $q,$ und $n,$ fortziehenden Begrenzungslinien gehören der Rückenfläche des Hauptgewölbes an.

Eben so läßt sich mittels der Projection der Erzeugenden, welche durch $f,,$ bezw. f_3 und $c,,$ bezw. c_3 gelegt sind, eine Fuge d,e des Kranzes und danach die in der Figur für d,e angedeutete Fugenfläche bestimmen, wobei nur zu beachten, dafs in der Hilfsfigur d_3 auf der durch n_3 gehenden Durchdringungslinie der Rückenlinie der Stichkappe und der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegt, während e_3 der Durchschnittspunkt der durch f_3 bezw. $f,,$ gehenden Erzeugenden mit der inneren Wöblinie ist und sich auf der durch $i,$ laufenden Kranzlinie befindet. Die Lagerfugen des Kranzes gehören lothrechten Ebenen an, deren Spuren in der Hilfsfigur als m_3r_3 und m_3c_3 gezeichnet sind.

Der Kranz an sich wird aus Backstein unter Wahrung der so bestimmten Lagerfugen auf Verband gemauert und gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe, wobei auf der Schalung die inneren durch p_1 und i_1 gehenden Durchdringungslinien vorgezeichnet sind, ausgeführt. Die Wangen für die Stichkappen und danach die Stichkappen selbst können nach Vollendung des Hauptgewölbes oder gleichzeitig mit demselben hergerichtet werden.

Für die Stichkappen wird in den meisten Fällen eine Verschalung, welche sich unmittelbar auf die Schalung des Hauptgewölbes legt und die an ihrer Schmieglinie der inneren Durchdringungslinie p_1 folgt, angebracht. Bei untergeordneten Anlagen wird statt solcher Schalung für die Laibungsfläche der Stichkappe auch hin und wieder ein oben entsprechend abgeformter, zwischen den aufgeführten Wangen liegender Erdhügel, aus thonigem Sande bestehend, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht und dieser als Lehre für die Stichkappe benutzt.

Bei den kegelförmigen Stichkappen sind gleichfalls zuerst die Durchschnittslinien der Laibungs-, bezw. Rückenflächen des Hauptgewölbes mit den entsprechenden Kegelflächen der Stichkappe zu ermitteln.

In Fig. 342 ist die Zeichnung für eine Stichkappe mit ansteigender Kegelfläche gegeben.

Die Axe der inneren Kegelfläche ist im lothrechten Schnitte AB die Gerade $s,,m$. Ihre Grundrifs-Projection ist sp ; ihre Projection im Schnitte CD ist s,m . Das weitere Festlegen dieser Kegelfläche ist durch die Bestimmung erfolgt, dafs die höchste Seitenlinie derselben durch den höchsten Punkt c , des inneren Laibungsbogens a,c,f , der Fensteröffnung gehen soll. Dieser Bogen besitzt nach der Darstellung im Schnitte CD den auf der Kegelaxe gelegenen Punkt c , als Mittelpunkt; die Projection dieses Punktes in der Ebene V des Schnittes AB ist $c,,$.

Betrachtet man diesen Bogen a,c,f , als Theil eines in der lothrechten Ebene V gelegenen Kreises, so ersieht man, dafs die für die Laibungsfläche der Stichkappe benutzte Kegelfläche einem schiefen Kegel angehört, bei welchem die Axe $s,,m$ mit der in der Ebene V enthaltenen Geraden $Ve,,$ den Winkel $Ve,,s,,$ einschließt. Jede parallel mit der Ebene V geführte Ebene schneidet die Kegelfläche nach einem Kreise. Die höchste Erzeugende ist im Schnitte AB als die Gerade $s,,c,,p,,$ eingetragen. Der Punkt $p,,$ gehört der inneren Wöblinie des Hauptgewölbes an, ist also ein gemeinschaftlicher Punkt des Hauptgewölbes und der inneren Laibungsfläche der Stichkappe.

166.
Kegelförmige
Stichkappen.

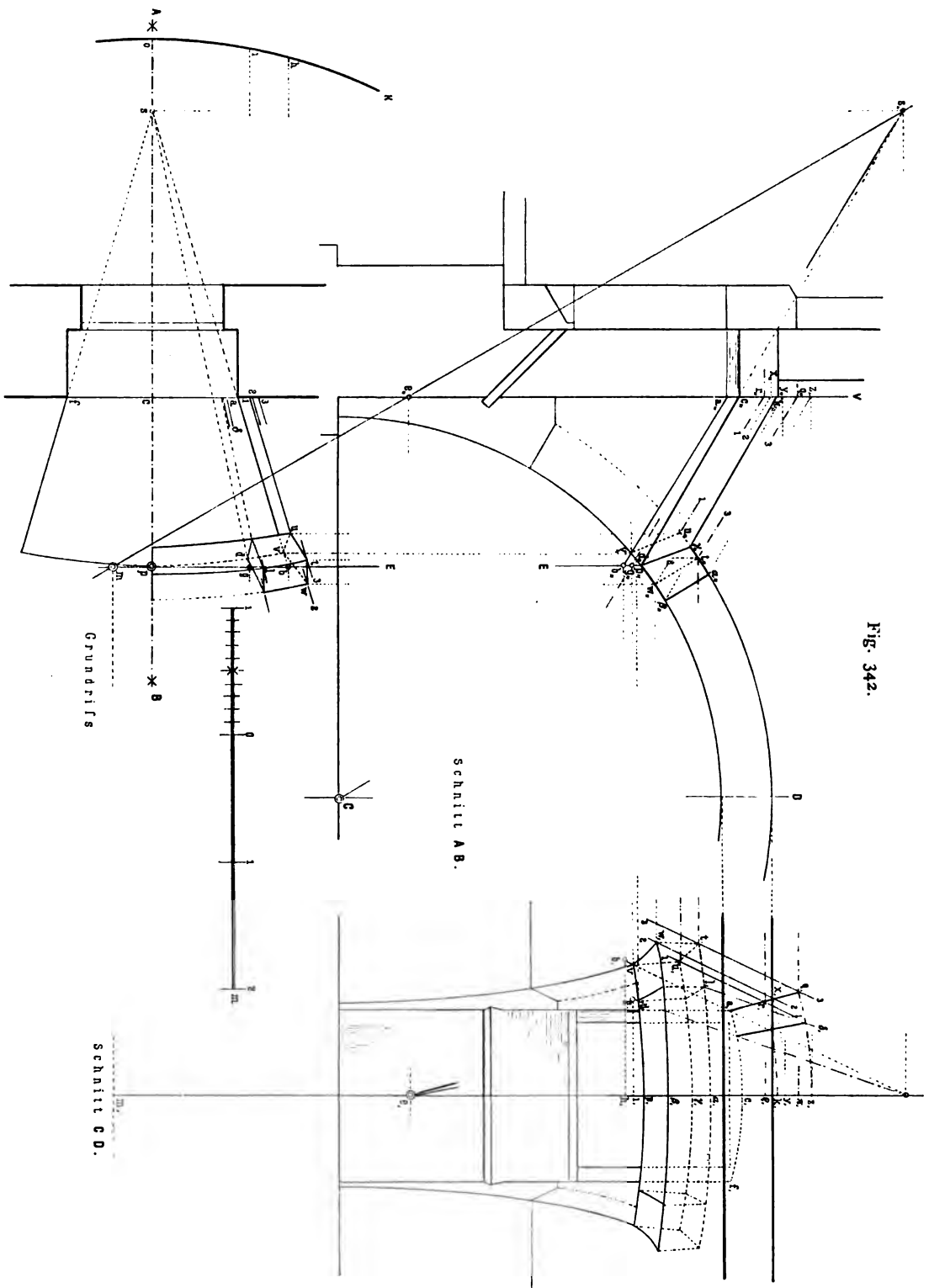


Fig. 342.

Eine durch $p_{,,}$ geführte lothrechte Ebene E liefert als Kegelschnitt einen Kreis mit dem Halbmesser $m p_{,,}$. Ein Stück dieses Kreises ist im Grundriss AB als Bogen K niedergelegt. Der Mittelpunkt desselben ist die wagrechte Projection des Punktes m , also der Punkt p , und hiernach ist $p o = p_{,,} m$ zu nehmen. Die für die Stichkappe in Frage kommende tiefste Seitenlinie des Kegels ist als Strahl $s b$ im Grundriss gekennzeichnet. Derselbe muß durch den tiefsten Punkt a , der Bogenlinie a, c, f , der Fensteröffnung, gehen. Da der Punkt a im Grundriss diesem tiefsten Punkte a , zukommt, so ist die Lage der bezeichneten tiefsten Erzeugenden in ihrem Beginne durch $s a$ bestimmt. Diese Erzeugende trifft, gehörig erweitert, den in der Ebene EE gelegenen Kegelschnitt im Punkte b . Die Ordinate dieses Punktes ist mit Hilfe des Kreises K als $b h$ auszumessen. Trägt man diese Länge $b h$ von m als $m b_{,,}$ in der Lothrechten EE ab, so ist $s_{,,} b_{,,}$ die Aufriss-Projection der gefuchten Erzeugenden. Dieselbe durchstößt die Laibungsfläche des Tonnengewölbes in einem Punkte, dessen Projectionen $v_{,,}$ und v auf den entsprechenden Kegelerzeugenden, deren Projectionen in $s_{,,} b_{,,}$ und $s b$ sind, nunmehr leicht gefunden werden können. Durch $v_{,,} p_{,,}$ und $v p$ zieht die innere tiefste Durchdringungslinie der Kegelfläche der Stichkappe mit der cylindrischen Fläche des Hauptgewölbes.

Um noch irgend einen Punkt dieser Durchdringungslinie in seinen Projectionen zu erhalten, ist im Grundriss die beliebig genommene Kegelerzeugende $s g$ gezogen, die Ordinate $g i$ des Endpunktes dieser Seitenlinie im Kreise K von m nach $g_{,,}$ im Schnitte AB abgetragen und die Gerade $s_{,,} g_{,,}$ geführt. Dieselbe liefert den Durchstoßpunkt $d_{,,}$ im Aufriss, wonach d im Grundriss auf $s g$ und d , im Schnitte CD bestimmt werden kann.

Die Rückenfläche der Stichkappe gehört gleichfalls einem schiefen Kegel an, dessen Axe mit der Axe des Kegels der inneren Laibungsfläche zusammenfällt und dessen Leitlinie ein in der Ebene V gelegener Kreis ist, welcher dem Grundkreise des ersten Kreises concentrisch ist. Nimmt man die rechtwinkelig auf $c_{,,} p_{,,}$ abzusetzende Stärke der Stichkappe als Abstand der beiden parallelen Geraden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB z. B. gleich 1 Steinlänge an, so ist $e_{,,} k_{,,}$ der Halbmesser des Grundkreises für den Kegel der Rückenfläche der Stichkappe. Im Schnitte CD ist der mit dem Halbmesser $e, k, = e_{,,} k_{,,}$ um e beschriebene Bogen k, r , ein Stück dieses Grundkreises. Dasselbe ist durch eine den Punkt a , und die Kegelaxe enthaltene Ebene begrenzt, welche die Ebene V in einer Geraden schneidet, die im Punkte a , senkrecht zum Bogen a, c, f , steht. Der Punkt r , ist ein Grenzpunkt. Jede durch die beiden Kegelflächen gemeinschaftlich angehörende Axe geführte Ebene schneidet dieselben in Seitenlinien, welche vermöge der concentrischen Grundkreise und der Annahme des Parallelismus der höchsten Erzeugenden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$, unter einander gleichfalls parallel sind.

Verbindet man im Schnitte AB die Punkte $\gamma_{,,}$ und $p_{,,}$ durch eine gerade Linie, nimmt man $p_{,,} \beta_{,,}$ oder, bei stark geneigten Stichkappen, $\gamma_{,,} a_{,,}$ gleich der zu wählenden Breite des Kranzes, z. B. bei Backsteingewölben je nach der größeren oder kleineren Spannweite der zusammentretenden Gewölbe zu 1, bezw. $\frac{1}{2}$ Steinlänge an, zieht man darauf $\beta_{,,} a_{,,}$ bezw. $a_{,,} \beta_{,,}$ senkrecht zur Wölblinie des Hauptgewölbes, so ist $a_{,,} \beta_{,,} p_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB der lothrechte Schnitt des Kranzes.

Die Punkte $\beta_{,,}$ und $a_{,,}$ sind wiederum als Punkte weiterer Kegelflächen anzusehen, deren Axen mit der ursprünglichen Kegelaxe zusammenfallen und welche eben so bestimmt werden können, wie solches bei der Kegelfläche des Rückens der Stichkappe gezeigt ist. Zieht man $\beta_{,,} \gamma_{,,}$ bezw. $a_{,,} s_{,,}$ parallel zu $c_{,,} p_{,,}$, so sind $e_{,,} \gamma_{,,}$ bezw. $e_{,,} s_{,,}$ die Halbmesser der zugehörigen Grundkreise. Dieselben sind, so weit die erweiterte Normale $a r$ im Schnitte CD folches bedingt, stückweise als γ, x , bezw. s, q , gezeichnet. Nach diesen Ermittlungen läßt sich nun die Anschlußfläche des Kranzes im Hauptgewölbe näher angeben.

Die Projectionen dieser Fläche sind im Grundriss als $u v w t$, im Schnitte AB als $u_{,,} v_{,,} w_{,,} t_{,,}$ und im Schnitte CD als u, v, w, t , dargestellt. Von diesen Eckpunkten der Fläche sind bereits v , $v_{,,}$ früher bestimmt.

Um die Punkte u , $u_{,,}$, u , zu erhalten, ist das Folgende zu bemerken. Nach dem Schnitte CD gehört der Punkt u , der durch b, a, r , gehenden Ebene und ferner einer durch r , gehenden Erzeugenden 11 an, welche, wie oben bemerkt, zur Seitenlinie s, a , des ursprünglichen Kegels der Laibungsfläche der Stichkappe parallel sein muß. Im Schnitte AB entspricht dem Punkte r , der Punkt $r_{,,}$. Zieht man $r_{,,} u_{,,}$ parallel zu $s_{,,} a_{,,}$, so ist $u_{,,}$ auf der Rückenlinie des Hauptgewölbes gefunden; führt man im Schnitte CD die Gerade 11 parallel zu s, a , so liegt u , entsprechend $u_{,,}$, auf dieser Geraden. Die rechtwinkelige Entfernung des Punktes r , vom Lothe s, e , ist gleich ρ, r . Trägt man im Grundriss die Strecke $c t = \rho, r$, ab und zieht man hier wiederum 11 parallel zu s, a , so ist der Punkt u , entsprechend $u_{,,}$ auf 11 zu finden. In gleicher Weise ist für die übrigen Punkte zu verfahren. Die Punkte t , $t_{,,}$, t gehören den Erzeugenden 22 an, für welche zunächst der Punkt x , im Schnitte CD maßgebend wird. Die Punkte w , $w_{,,}$, w kommen den Erzeugenden 33 zu, für welche alsdann der Punkt q , im Schnitte CD grundlegend wird. Da alle Punkte der zu bestimmenden Fläche in der durch die Kegelaxe gehenden

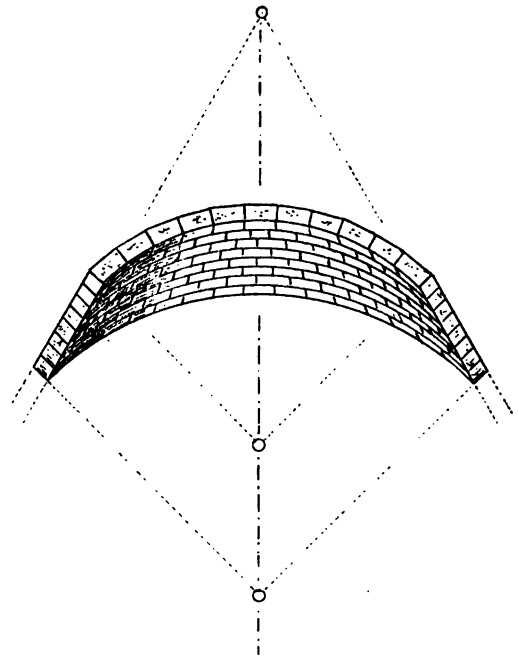
Ebene, welche die Gerade a, r , enthält, liegen müssen, so sind die Erzeugenden aa , bzw. 33 parallel den zugehörigen Seitenlinien s, a , bzw. s, a , bzw. s, a .

Für eine beliebige Lagerfugenfläche, welche im Schnitte CD durch d, l , bezeichnet ist, gilt dieselbe Art der Bestimmung.

Führt man im Schnitte CD eine beliebige der Ebene a, g , benachbarte Ebene durch die Kegelaxe, so zieht durch den betreffenden Schnittpunkt dieser Ebene mit dem Kreisbogen a, c, f , eine Erzeugende s, g , zu welcher dann alle übrigen Erzeugenden, die für die Eckpunkte der Lagerfugenfläche in Betracht gezogen werden müssen, parallel zu legen sind. Für den Punkt l , ist also die Erzeugende δ_1 parallel zur Geraden s, g . Für die übrigen Punkte der Lagerfugenfläche ist die Zeichnung nicht weiter durchgeführt, da das Nöthige bei der Ansatzfläche des Kranzes mitgetheilt ist.

Die kegelförmigen Stichkappen sind vermöge ihrer Verbreiterung nach dem Hauptgewölbe zu für die Beleuchtung der mit solchen Decken versehenen Räume durch Tageslicht günstig. Ihre Einwölbung erfolgt bei Backsteingewölben zweckmäßig auf Schwalbenschwanz oder nach dem fog. *Moller'schen* Verbande (Fig. 343), wobei die Lagerfugen in Ebenen parallel zur Stirn der Stichkappe liegen, weil bei der Einwölbung auf Kuf durch das Divergiren der Lagerfugenflächen in den meisten Fällen ein zu starkes Verhauen der Backsteine durch das Zuspitzen der Wölbsteine vom Kranze nach der Fensteröffnung hin eintreten müßte.

Fig. 343.

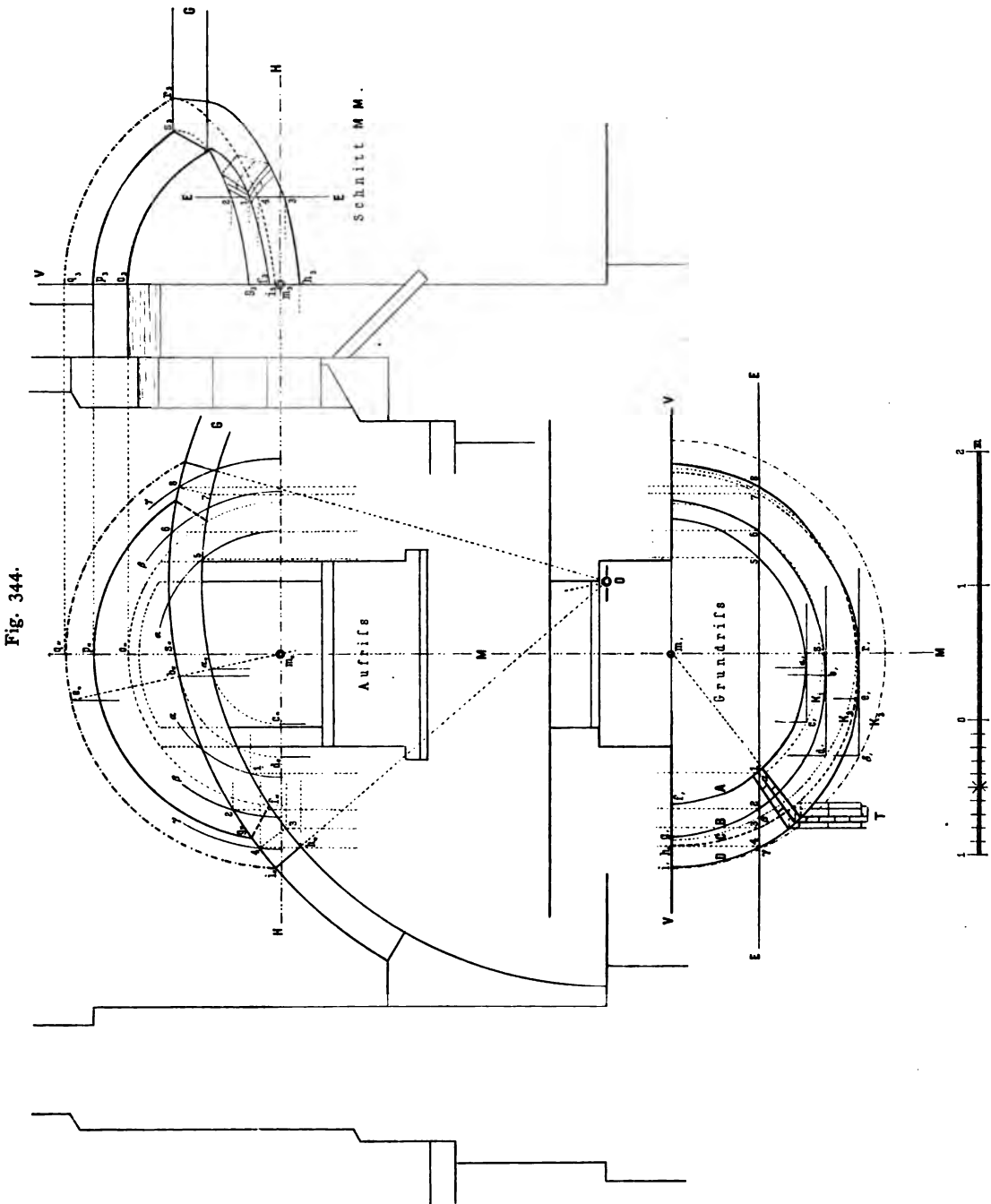


167.
Kugel-
Stichkappen.

Bei den Kugel-Stichkappen gehört die Laibungsfläche einem bestimmten Theile einer Kugelfläche an. Fig. 344 giebt die Anlage einer Kugel-Stichkappe an der Schildmauer eines Tonnengewölbes mit dem zugehörigen Kranze im Grundriss, Aufriss und in einem Meridionalschnitte MM . Die Ansatz- oder Widerlagsflächen des Kranzes müssen an den Stirnmauern liegen. Dasselbe gilt auch für solche cylindrische oder kegelförmige Stichkappen. Würde bei diesen Anlagen der Kranz fein Widerlager im Hauptgewölbe entfernt von der Schildmauer erhalten, so wären mehrere Schichten desselben ohne Widerlager; auch könnten die verbleibenden Seitenöffnungen der Stichkappe nicht durch Wangenmauern, welche auf den widerlagslosen Schichten ruhen müßten, geschlossen werden. Unschön und nicht empfehlenswerth ist ferner ein allmähliches Emporziehen der Wölbcharen nach der Abschlußlinie einer in der Stirnmauer befindlichen Licht- oder Thüröffnung.

Bei der in Fig. 344 gegebenen Kugel-Stichkappe ist in erster Linie die Bestimmung des Kranzes von Bedeutung. Der Mittelpunkt der Kugel liegt in der Ebene der Stirnmauer. Die Kugelfläche der Stichkappe besitzt in ihrem größten Kreise den durch o , im Aufriss geführten Abschlußbogen einer Maueröffnung, dessen Mittelpunkt m , gleichzeitig die lothrechte Projection des Mittelpunktes der Kugel ist. Diesem entsprechen die Punkte m_1 , bzw. m_3 im Grundriss und im Schnitte MM . Die durch m, m_3 gelegte wagrechte Ebene HH enthält ebenfalls den größten Kreis der Kugel. Erweitert man den durch o , gehenden Kreisbogen, so schneidet derselbe die innere Wöblinie des Hauptgewölbes im Punkte f ,. Die wagrechte Projection dieses Durchstoßpunktes ist f , und die lothrechte Projection desselben im Schnitte MM ist f_3 .

Nimmt man im Aufriss o, p , gleich der Stärke der Kugel-Stichkappe, so ist diese in der Meridianebene VV gelegen, bezeichnet also die normale Stärke dieser Kappe. Der mit m, p , und m , geschlagene Kreis trifft die Rückenlinie des Hauptgewölbes in g , wonach weiter g , im Grundriss und g_2 im



Schnitte MM bestimmt werden können. Außerdem ergeben die geraden Linien f, g, f, g, f, g eine Begrenzungslinie vom Anfätze des Kranzes.

Setzt man im Aufriss g, i , oder f, h , als Stärke des Kranzes fest und zieht man i, h , normal zur Wöblinie, hier also radial durch O , so ergibt sich in f, g, i, h , die lothrechte Projection der An-

fatzfläche des Kranzes. Die Projectionen derselben im Grundriß und im Schnitt MM sind danach leicht zu ermitteln.

In ganz gleicher Weise ist die zweite Ansatzfläche bei G zu zeichnen.

Um für die Kranzlinie weitere Punkte, welche in Fig. 344 durchweg mit 1, 2, 3, 4 bezeichnet sind, fest zu legen, sind die für die Punkte o , p , und q , geltenden Halbmesser der ihnen zukommenden Kugelflächen benutzt, um im Grundriß diese Kugelflächen zu kennzeichnen. Um m , ist der Halbkreis K_1 mit dem Halbmesser $m_{o,o}$, der Halbkreis K_2 mit dem Halbmesser $m_{p,p}$, und endlich der Halbkreis K_3 mit dem Halbmesser $m_{q,q}$, geschlagen. Führt man eine beliebige lothrechte Ebene nach EE parallel zur Stirnebene VV durch die Kugel-Stichkappe und das Hauptgewölbe, so erhält man im Grundriß der Reihe nach die Schnittpunkte $\alpha\beta\gamma$ dieser Ebene mit den angegebenen Kugelkreisen K_1 , K_2 , K_3 .

Sucht man im Aufriss in der Spur HH der wagrechten Mittelpunktsebene die Projectionen dieser Punkte auf, so gehen durch diese Punkte die Kreise α , β , γ , welche offenbar die lothrechten Projectionen der Schnittlinien der einzelnen Kugelflächen mit der durch EE geführten Ebene sind. Der Kreis α gehört der Laibungsfläche der Kugel-Stichkappe an; derselbe durchstößt die innere Wöblinie im Punkte 1. Der Kreis β kommt der Rückenlinie der Stichkappe zu; sein Durchstoßpunkt mit der Rückenlinie des Hauptgewölbes liefert den Punkt 2. Der Kreis γ dagegen ist der äußersten oberen Begrenzungslinie des Kranzes angehörig; derselbe schneidet die Rückenlinie des Gewölbes im Punkte 4.

Zieht man endlich den Strahl $4O$, so liefert derselbe den Punkt 3, welcher der äußersten unteren Begrenzungslinie des Kranzes zuzuweisen ist. Nachdem im Aufriss die Punkte 1, 2, 3, 4 ermittelt sind, können die entsprechenden Punkte im Grundriß und im Schnitt MM in einfacher Weise bestimmt werden. Durch dasselbe Verfahren sind auch die Punkte 5, 6, 7, 8 gefunden.

Nach diesen Angaben lassen sich die mit $ABCD$ im Grundriß bezeichneten Begrenzungslinien des Kranzes ermitteln. Die Punkte s , und r , im Grundriß ergeben sich mit Hilfe der im Schnitt MM auf den um m_3 mit $m_3 p_3$, bzw. $m_3 q_3$ beschriebenen Kreisbogen liegenden Punkten s_3 und r_3 .

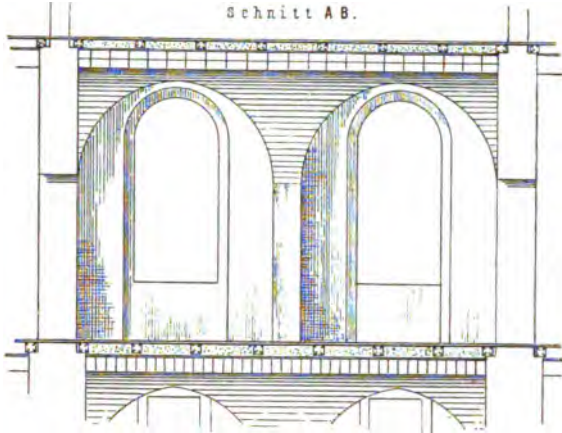
Für die auf den Kranzlinien A und B im Grundriß liegenden, am weitesten in das Hauptgewölbe tretenden Punkte a , und b , ist der im Aufriss angegebene, durch die Axe des Hauptgewölbes und die wagrechte Kugellaxe geführte Schnitt Om , benutzt, welcher in a , und b , die lothrechte Projection dieser betrachteten Punkte ergibt. Da dieselben zunächst auf Kugelkreisen, welche entstehen, wenn durch a , bzw. b , lothrechte Ebenen parallel zur Stirnmauer geführt werden, sodann aber auf wagrechten Erzeugenden der Wöblinie, bzw. der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegen, so hat man nur nöthig, mit den Halbmessern $m_{a,a}$, bzw. $m_{b,b}$, die Kreisbogen $m_{c,c}$, bzw. $m_{d,d}$, zu schlagen, die Punkte c , bzw. d , auf den Kugelkreisen K_1 , bzw. K_2 , im Grundriß zu bestimmen, durch c , bzw. d , parallele Linien zu VV zu führen, um auf diesen die wagrechten Projectionen a , bzw. b , der am weitesten von VV entfernten Punkte der bezeichneten beiden Kranzlinien zu erhalten. Für die Kranzlinien D und C bildet die parallel zu VV durch δ_1 im Grundriß gezogene Gerade eine gemeinschaftliche Tangente. Die Berührungspunkte liegen auf den Erzeugenden des Hauptgewölbes, welche durch a , und b , geführt werden können, und auf Kugelkreisen, deren Projectionen im Aufriss sich mit b , d , bzw. a , c , decken würden. Erweitert man die Lothe in a , bzw. b , im Grundriß, so ergeben sich in den dadurch auf der Geraden δ_1 entstehenden Schnittpunkten die wagrechten Projectionen der Berührungspunkte.

Die Ausführung des Kranzes erfolgt unter Verwendung von gutem, schnell bindendem Mörtel mit Lagerfugenflächen, die, wie im Grundriß angedeutet, sämmtlich Meridianschnitten der Kugel-Stichkappe angehören. Die Stichkappe selbst wird nach der bei Kugelgewölben üblichen Einwölbungsart, wovon erst später die Rede sein kann, aus freier Hand eingewölbt, nachdem das Hauptgewölbe bereits ausgerüstet ist. Da eine Auschalung der Kugelfläche der Stichkappe mit unnöthigen Schwierigkeiten verknüpft ist, so benutzt man bei der Einwölbung als Lehre eine dünne Stange von der Länge des Halbmessers $m_{o,o}$, der inneren Kugelfläche, welche am unteren Ende mit einem Haken in eine in m , befestigte Oese greift, also um m , drehbar ist und nun den Ringschichten der Kugel-Stichkappe entsprechend als fog. Leier umhergeführt werden kann, so dafs mit Leichtigkeit durch das obere Ende der Leier die richtige Stellung und Anordnung der Lager- und Stofsugen für die Wölbsteine der Stichkappe zu treffen ist.

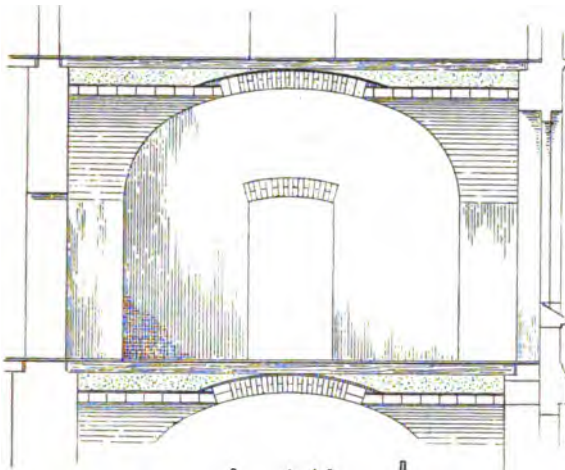
Soll die Kugel-Stichkappe gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe ausgeführt werden,

Fig. 345.

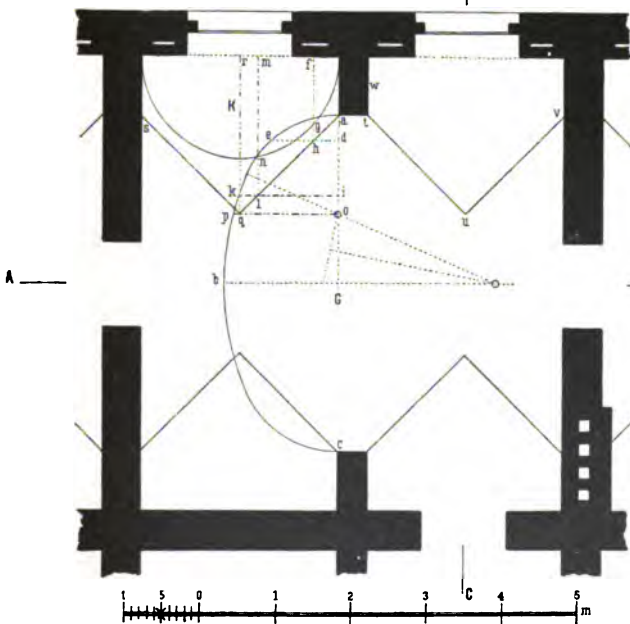
Schnitt AB.



Schnitt CD.



Grundriss



fo gebraucht man als Lehre für die Stichkappe einen aus lehmigem Sand entsprechend geformten, auf der Schalung des Hauptgewölbes ruhenden Kern, auf welchem die Wölbsteine der Stichkappe in concentrisch lagernden Ringschichten mit radialen Lager- und Stosfugen vermauert werden.

Die Anordnung von Stichkappen bei Tonnengewölben bietet im Hochbauwesen, abgesehen von der dadurch bewirkten sachgemäßen Anlage von Licht- und Thüröffnungen, mannigfache Vortheile. So ist durch dieselben eine Auflösung der Widerlager in einzelne kräftigere Pfeiler mit dazwischen liegenden Nischen oder Blenden und hiermit eine bedeutende Verminderung der sonst für ein größeres Tonnengewölbe erforderlichen, oft sehr starken Widerlagsmassen möglich. Eine solche Auflösung der Widerlager in Pfeiler und Blenden zeigt Fig. 345 für ein Tonnengewölbe, dessen Wölblinie ein aus drei Mittelpunkten beschriebener Korbogen *abc* ist.

Das eigentliche Widerlager dieses Gewölbes sind die bei *a* und *c* verhältnißmäßig schmal, aber entsprechend stark angelegten Pfeiler. Zwischen diesen und den Querscheidemauern, welche übrigens auch als eben solche Pfeiler angelegt werden können, befinden sich die Blenden. Diese sind mit geraden Stichkappen überwölbt, welche sich unmittelbar in das Hauptgewölbe einfügen.

In der Zeichnung sind die unteren Durchdringungslinien in ihrer

168.
Auflösung
der
Widerlager
in Pfeiler
und
Blenden.

wagrechten Projection von vornherein als gerade Linien fest gelegt, welche im Punkte q auf der Axe der Stichkappen unter einem rechten Winkel zusammentreten und an den Ecken der Pfeiler, so wie an den Scheidemauern endigen.

Durch diese bestimmte Annahme wird die Wölblinie der Stichkappen von der Wölblinie des Tonnengewölbes abhängig gemacht, wie bereits in Art. 133 (S. 161) erwähnt wurde. Die Wölblungslinie der Stichkappe K ergibt sich in einfacher Weise durch das Festlegen von wagrechten Erzeugenden beider Gewölbe, welche in gleicher Höhe über der Kämpferebene in einem gemeinschaftlichen Punkte der Durchdringungslinie über den Geraden aq , bzw. qs zusammentreten. Die Erzeugende de des Hauptgewölbes ergibt auf aq den Punkt h ; durch diesen Punkt zieht auch die zugehörige Erzeugende hf der Stichkappe K .

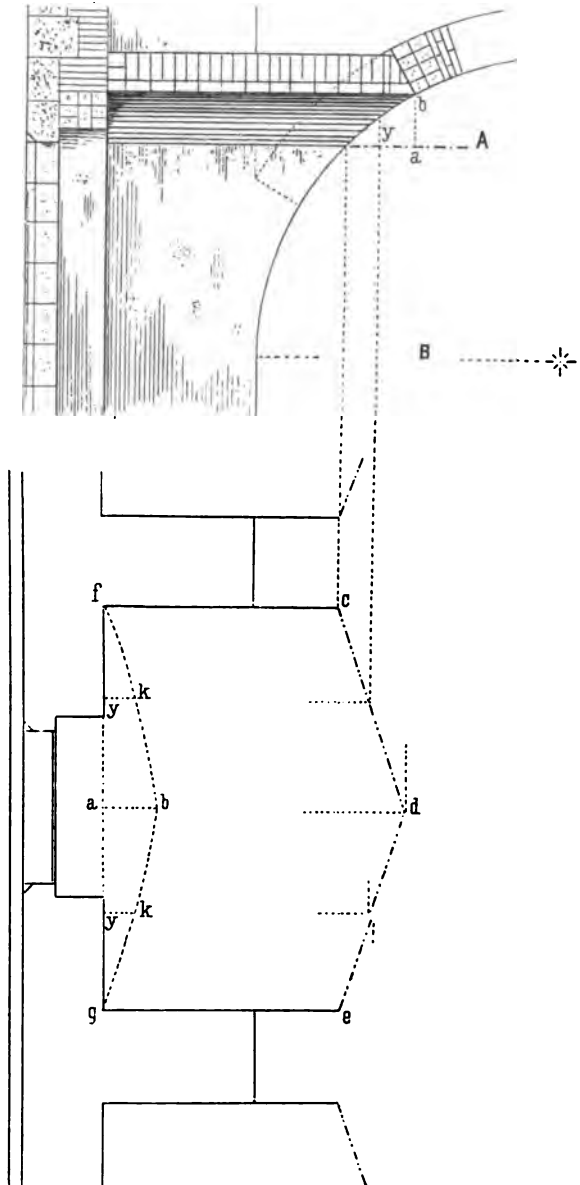
Nimmt man $de = fg$, so ist aus leicht ersichtlichen Gründen der Punkt g ein Punkt der Wölblinie der Stichkappe K . In gleicher Weise ist der Punkt n , wobei $mn = ik$ wird, ermittelt.

Die so gezeichnete Wölblinie nähert sich im vorliegenden Falle, obgleich dieselbe aus zwei Ellipsentheilen zusammengefasst ist, sehr stark der Halbkreisform.

Die Art der Einwölbung ist aus den Schnitten AB und CD ersichtlich. Hätten die Stichkappen nach den vorderen Begrenzungsmauern der Blenden, die nunmehr als Schildmauern für diese Kappen auftreten und in Folge hiervon meistens nur einer mäßigen Stärke bedürfen, aufsteigen sollen, so ändert diese Anordnung nichts an der Lage der Punkte g , n u. s. f. Die Erzeugenden der Stichkappe sind dann von diesen Punkten aus nicht mehr wagrecht, sondern unter gleichen Winkeln ansteigend, dabei aber einander parallel.

Liegt die Kämpferebene A der Stichkappe höher, als die mit B bezeichnete des Hauptgewölbes (Fig. 346), und sollen dennoch die Durchdringungslinien der Laibungsflächen der beiden zusammentretenden Gewölbe in ihrer wagrechten Projection zwei gerade Linien sein, so werden der Winkel cde , unter welchem dieselben zusammenstoßen, und die Lage ihrer Ausgangspunkte c und e von der gewählten Pfeilhöhe ab der Stichkappe und der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes abhängig. Das Festlegen der Leitlinie der Stichkappe mit den beiden Zweigen fb und gb ist z. B. für irgend einen Punkt k mittels der Ordinate y aus der Zeichnung ohne Weiteres zu ersehen.

Fig. 346.



Wird zur Ausführung der Tonnengewölbe ausschließlich Bruchsteinmaterial benutzt, so ist vor allen Dingen auf ein möglichst festes, lagerhaftes, also plattenartiges Material zu sehen. Damit dasselbe den für ein Gewölbe vorgeschriebenen constructionellen Anforderungen entspricht, ist für die einzelnen Steine ein mechanisches Zurichten geboten, das sich darauf erstreckt, daß die einer und derselben Wölbschar zuzuweisenden Steine thunlichst gleiche Dicke und gleiche keilförmige Form durch die Bearbeitung bekommen, da nur hierdurch die Lagerfugenkanten nach dem Vermauern der Steine eine parallele Richtung mit der Gewölbaxe und die Mörtelbänder der Lagerfugen eine möglichst gleiche Stärke erhalten.

169.
Tonnengewölbe
aus
Bruchsteinen.

Ebenfalls sind Steine von einer Längen- und Breitenabmessung unter 20 cm, wenn nicht eine besondere, dem Gußmauerwerk ähnliche Ausführung stattfinden soll, von der Verwendung zur Gewölbemauerung auszuschließen. Die Art der Einwölbung mit Bruchsteinen hat sich hinsichtlich der Verbandanordnung der einzelnen Steine und der Wölbschichten möglichst den für Backsteingewölbe niedergelegten Regeln anzupassen. Die einzelnen Wölbesteine sollen thunlichst durch die ganze Gewölbstärke reichen, die Steine selbst normal zur Laibungsfläche des Gewölbes stehen und die Stosfugen rechtwinkelig zu den Lagerfugen gerichtet sein. Für die Verbindung der Steine ist ein guter verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel zu nehmen. Zeigen sich auf dem Rücken des Gewölbes einzelne Lücken in den Steinen oder gar stärkere Fugen, so sind dieselben sorgsam zu verzwicken; überhaupt ist dahin zu sehen, daß ein Bruchsteingewölbe in seinem Körper ein gut geschlossenes Mauerwerk zeigt, welches in seinem Gefüge sich den Backsteingewölben so weit als irgend möglich nähert.

Bruchsteingewölbe werden zweckmäfsig nicht unter 30 cm Stärke ausgeführt. Bei grösseren Gewölben muß natürlich die Stärke durch statische Untersuchung ermittelt werden. Hierbei kommt nun aber wesentlich die Festigkeit des zu Gebote stehenden Materials in Betracht.

Weniger feste Bruchsteine liefern ein Gewölbe, welches dieselbe Stärke, wie ein gleich geformtes und belastetes Backsteingewölbe, unter Umständen eine noch grössere Stärke erfordert, während festere Bruchsteine eine Stärke erhalten können, welche der Stärke von guten Quadergewölben sich nähert. Bruchsteine, die geringere Festigkeit als gut gebrannte Backsteine besitzen, sollen zu Gewölben nicht verbraucht werden. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse kann die Stärke der Bruchsteingewölbe nach den auf S. 185 u. 186 mitgetheilten Gleichungen 142 u. 145 ermittelt werden, indem man die dadurch erhaltenen Abmessungen gleichsam als untere und obere Grenzwerte betrachtet, wobei jedoch von Fall zu Fall in Rücksicht auf die Beschaffenheit des Wölbmaterials eine Erhöhung, bezw. eine etwaige Herabminderung solcher Stärke sorgfältig erwogen werden muß.

In Frankreich und hin und wieder auch in Deutschland sind Tonnengewölbe nur aus kleineren unbearbeiteten Steinen hergerichtet, welche an den Stirnen der Gewölbe von einem aus guten Bruchsteinen oder Quadern angefertigten, kurzen Gewölbestück begrenzt sind. Die Gewölbe bestehen alsdann aus über einander gelagerten Schalen. Die erste Steinschicht wird unter Benutzung von Cementmörtel auf der Schalung des Gewölbes so gebildet, daß die möglichst ebenen Flächen der Wölbesteine auf der letzteren gut lagern. Auf diese erste noch nicht vollständig erhärtete Schale kommt die zweite u. s. f., bis das Gewölbe die erforderliche Stärke erhalten hat. Das Ganze wird dann mit einem flüssigen Cementmörtel übergossen.

Ein solches Gewölbe kann auch feiner Länge nach streckenweise in Zonen von der unteren bis zur oberen Schale ausgeführt werden.

Nach dem Erhärten dieses Baukörpers, welcher einem fog. Gufsgewölbe ähnlich ist, entspricht derselbe einem vollwandigen Bogen mehr, als einem eigentlichen Gewölbe.

170.
Tonnen-
gewölbe
aus
Quadern.

Das edle, vornehme und dauerhafte Quadermaterial ist zur Ausführung von Tonnengewölben selbstredend sehr geeignet. Seiner oft großen Kosten halber findet dasselbe im Hochbauwesen jedoch eine nur gering zu nennende Verwendung, da wesentlich nur bei Prachtbauten auf Quadergewölbe Rücksicht genommen werden dürfte.

Bei der Ausführung von Gewölben aus Quadern, auch Haufsteine, Schnittsteine, Werkstücke genannt, ist im Allgemeinen für die Verbandanordnung der Lager- und Stosfugenkanten das bei Backsteingewölben Gesagte maßgebend. Die einzelnen Quader der Wölbcharen greifen durch die ganze Gewölbstärke. Nichts steht einer reicheren Ausschmückung der in der Laibung des Gewölbes auftretenden unteren Flächen der Wölbquader durch Ornamente, Cassettirung u. s. w. entgegen, und bei sorgfamer, einem gut und regelrecht gewählten Fugenschnitte entsprechender Bearbeitung der einzelnen Steine erscheint ein Quadergewölbe als eine beachtenswerthe Construction.

Beim Veretzen der Quader auf der Schalung des Gewölbes bedient man sich derselben Werkzeuge und Hilfsmittel, welche beim Quadermauerwerk überhaupt Verwendung finden. Eine Eintheilung der Schichten und ein Vorzeichnen der Lager- und Stosfugenkanten auf der Schalung der Lehrbogen bietet für das richtige Veretzen der Quader den nöthigen Anhalt. Für die Mörtelgabe bei Quadergewölben ist bereits in Art. 150 (S. 218) das Nähere angegeben.

171.
Schnecken-
gewölbe.

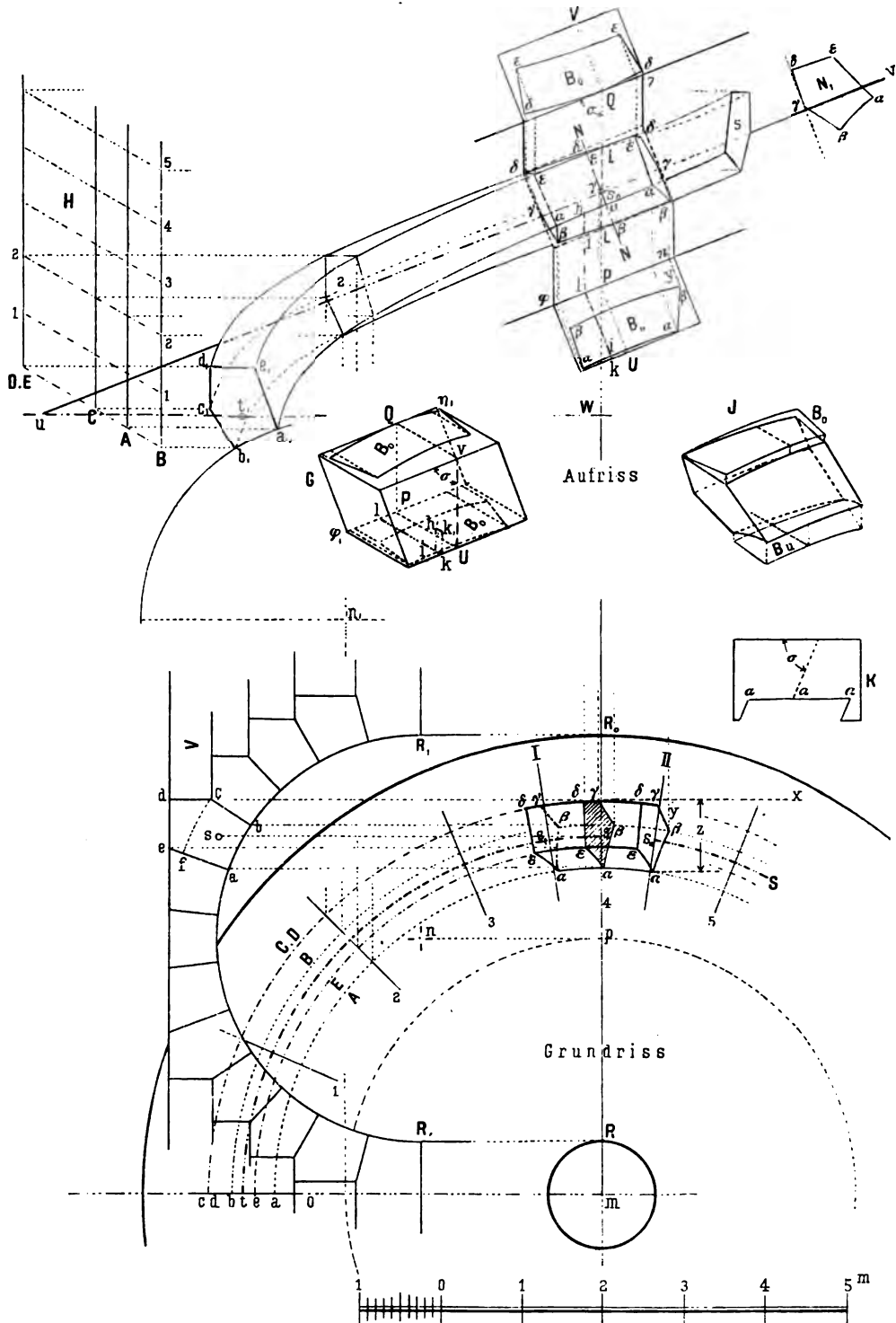
Gestaltet sich der Fugenschnitt bei einem geraden Quader-Tonnengewölbe im Allgemeinen in einfacher Weise, so sind doch für die in Art. 131 (S. 160) bereits erwähnten, schraubenförmig steigenden Tonnengewölbe oder Schneckengewölbe und für die in Art. 134 (S. 164) angeführten schiefen Gewölbe hinsichtlich des Steinfugenschnittes und der Formen der als Wölbsteine zu bearbeitenden Werkstücke besondere Ausmittlungen erforderlich, welche zur Bestimmung der Brettungen oder Schablonen dienen, wonach die Zurichtung der Steine vorgenommen werden muß.

Unter Bezugnahme auf Fig. 274 (S. 161), in welcher die Anordnung der Lager- und Stosfugenkanten der Wölbsteine für ein Schneckengewölbe nur angedeutet wurde, ist in Fig. 347 die Ausmittlung eines Werkstückes für ein derartig schraubenförmig ansteigendes Gewölbe vorgenommen.

Die Erzeugende des Schneckengewölbes sei der in der lothrechten, durch den Mittelpunkt m der vollen Spindel (Mönch, Mäkler) geführten Ebene RR_0 gelegene, hier im Grundriß niedergeklappte Halbkreis R,R , mit dem Mittelpunkte n . Die wagrechte Projection der als Schraubenlinie auftretenden Gewölbeaxe ist der um m mit dem Halbmesser mp beschriebene Kreis, während die wagrechten Projectionen der schraubenförmigen Kämpferlinien die mit den Halbmessern mR_0 , bezw. mR beschriebenen Kreise sind. Unter Berücksichtigung der Steigung, welche der Schraubenlinie der Gewölbeaxe gegeben werden soll, liegen für jede durch m tretende lothrechte Ebene die Punkte R , n , R , in einer wagrechten Linie.

Bestimmt man im lothrechten Mittelpunktschnitte V die Gewölbetheilung, so möge $abcde$ die lothrechte Stirnfläche irgend eines Wölbsteines sein. Betrachtet man den Punkt s_0 , welcher hier der Schwerpunkt des Flächenstückes $abcf$ ist, als einen Punkt der schraubenförmigen Axe desjenigen Wölbkörpers, dem die sämtlichen Steine mit gleichen lothrechten Stirnschnitten angehören, so ist die wagrechte Projection der Axe dieser Wölbchar der um m beschriebene Kreis Sst . Mit Hilfe der Projection der

Fig. 347.



Fläche $abcde$, bezogen auf die Ebene RR_0 , kann die gesammte wagrechte Projection der bezeichneten Wölbchar vervollständigt werden, wie solches durch die um m beschriebenen Kreife A, B, C, D, E gesehen ist.

Theilt man die Axe tS der Wölbchar in eine beliebige Anzahl gleich großer Theile ein und führt man durch die entsprechenden Theilpunkte lothrechte Mittelpunktschnitte $o, 1, 2$ u. f. f., bestimmt man der Steigung der Schraubenlinie der Gewölbaxe p gemäß in der lothrechten Projection die Lage a, b, c, d, e, f , des in der Ebene O befindlichen Stirnschnittes der in Frage kommenden Wölbchar, so läßt sich mit Verwendung des im Plane K für die einzelnen Schraubenlinien a, b , bis e , angegebenen Steigungsmasses, wobei z. B. $B1 = 12 = 23$ u. f. f. für die Schraubenlinie b , eben so für die Schraubenlinien d und e , die Strecke $D1 = B1, 12 = 12$ u. f. f. ist, die lothrechte Projection des schraubenförmigen Körpers der Gewölbchar fest legen. Die Lagerfugenflächen derselben werden von den Schraubenlinien a, e , bzw. b, c , bzw. c, d , begrenzt.

Die Stofsfugenflächen sind in folgender Weise zu ermitteln. Für die vortheilhafte Bearbeitung ist die Theilung jeder Wölbchar für sich in Wölbsteine von gleicher Länge rathsam. Neben einander liegende Wölbcharen müssen natürlich auf Verband mit Mitte Stofsfugenfläche auf Mitte Lagerfugenfläche geordnet werden, so daß, diesem Verbande entsprechend, am Anfange und am Ende jeder zweiten Wechselfchar ein Stein von der halben Länge der übrigen Scharsteine entsteht. Ist nun für die hier genommene Wölbchar S die durch s , und $s_{,,}$ gegebene Bogenstrecke, wobei $ss_{,,} = ss_{,,}$ ist, die Länge der Axe eines Wölbsteines, so gehen durch die Punkte s , und $s_{,,}$ die lothrechten Mittelpunktschnitte I und II , welche, nach rechts und links unter Beibehaltung ihres Abstandes $s, s_{,,}$ auf dem Kreife S übertragen, die allgemeine Lage der Stofsfugenflächen der Wölbchar geben. Die besondere Lage und Begrenzung der Stofsfugenflächen richtet sich nach der Vorschrift, daß dieselben in Ebenen liegen sollen, welche normal zur Schraubenlinie der Axe der zugehörigen Wölbchar geführt werden. In der wagrechten Projection ist s der mittlere Axenpunkt des Wölbsteines; demselben gehört die lothrechte Projection s_0 auf dem Lothe LL an. Um die durch s_0 gehende Spur NN der gefuchten Normalebene einer Stofsfugenfläche zu finden, möge durch t , eine wagrechte Ebene W gelegt und an die Schraubenlinie in dem Elemente, welches durch s und s_0 projicirt ist, eine Tangente geführt sein. Letztere erhält man in der lothrechten Projection, wenn die erstreckte Bogenlänge st des Kreisbogens S des Grundrisses von W nach u im Aufriss abgetragen und nun die Gerade us_0v gezogen wird. Zieht man NV durch s_0 rechtwinkelig zu uv , so erhält man die lothrechte Spur der gefuchten Normalebene. Dieselbe schneidet die Schraubenlinien a , in α , b , in β , c , in γ , d , in δ und e , in ϵ . Die wagrechten Projectionen dieser Schnittpunkte sind im Grundriss gleichfalls mit $\alpha, \beta \dots \epsilon$ bezeichnet. Durch diese Punkte sind die Grenzpunkte für die Stofsfugenflächen auf den einzelnen zugehörigen Schraubenlinien bestimmt. Weitere Punkte, welche der Normalebene und den einzelnen Schraubenflächen zukommen, lassen sich mit einigen auf den einzelnen Schraubenflächen eingezeichneten Hilfs-Schraubenlinien ermitteln, da die Durchstofspunkte derselben mit NN sich dann eben so, wie jene Grenzpunkte ergeben.

Ist hiernach im Grundriss die wagrechte Projection $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$ einer Stofsfugenfläche bestimmt, so ist dieselbe für die Mittelpunktschnitte I und II nur zu übertragen, weil die wagrechten Projectionen aller normal zu der Schraubenlinie der Axe einer Wölbchar gerichteten Schnitte genau dieselben bleiben. Denkt man sich RR_0 auf I , bzw. II so gelegt, daß dieselben, sich deckend, s mit s_1 , bzw. s mit $s_{,,}$ zusammenfallen lassen, so decken sich auch α mit α , β mit β u. f. f., und man erhält danach die vollständige wagrechte Projection eines Wölbsteines, dessen Projection im Aufriss nunmehr leicht gezeichnet werden kann. Eben so bietet die Ermittlung der Fläche N_1 des Normalschnittes NN keine Schwierigkeit.

Für die Bearbeitung des in den Projectionen dargestellten Wölbsteines sind aufser der Brettung N_1 noch Brettungen oder Schablonen B_o und B_u erforderlich, denen zur leichten Uebertragung der Schraubenlinien $\alpha\alpha, \beta\beta$ u. f. f. aus der lothrechten Projection des Wölbsteines Brettungen, wie z. B. K für $\alpha\alpha$, noch hinzugefügt werden können.

Umschließt man die lothrechte Projection des Wölbsteines durch ein Rechteck, welches in jeder Seite durch die äußerst gelegenen Punkte der Projection geht, so erhält man ohne Berücksichtigung eines Uebermasses, des sog. Arbeitszollens, die wirkliche Länge und Höhe des Steines, woraus der Wölbstein herzustellen ist. Begrenzt man ferner die wagrechte Projection dieses Wölbsteines durch zwei parallele Linien, welche, rechtwinkelig zu $R_o R$ geführt, durch die äußersten Punkte dieser

Projection ziehen, so erhält man im Abstände Z derselben die wirkliche Breite des Werkstückes.

Hätte man die Abmessungen unter Beifügung eines Arbeitszollens entsprechend vergrößert, so würde im Grundgedanken an der Ausmittlung der Schablonen nichts geändert werden. Denkt man sich die für die Brettung B_w maßgebende Seitenfläche U niedergeklappt, so bestimmt sich der Punkt β derselben in folgender Weise. Man ziehe die Lothrechte $\beta\pi$, errichte in π zur Linie P die Senkrechte $\pi\beta$, entnehme aus dem Grundriß die Ordinate y der wagrechten Projection β und trage $\pi\beta = y$ ab; alsdann ist β auf der Ebene U ein Punkt der Brettung B_w . In derselben Weise wird nicht allein für B_w , sondern auch für B_o , wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, die erforderliche Zahl von Punkten für die Brettungen aus den bekannten Projectionen der oberen und unteren Flächen des Wölbsteines ermittelt. Die Brettungen sind also Projectionen auf die ebenen Seitenflächen des Werkstückes.

Für das Anlegen dieser Brettungen an die obere, bzw. untere Ebene des Werkstückes sind die Geraden QV , bzw. PU maßgebend, welche rechtwinkelig zur Linie Q , bzw. zur Linie P stehen und deren Fußpunkte Q und P auf der lothrechten Linie LL liegen. In der Darstellung G ist das Anlegen der Brettungen B_o und B_w beim Werkstücke angegeben. Hierbei ist $Q\eta_1 = Q\gamma$ der Schablonenfläche V und $P\varphi = P\psi$ der Schablonenfläche U . Reißt man die Geraden VU , bzw. QP am Steine vor, so entsprechen dieselben der Lothrechten LL , welche um einen Winkel σ von den Begrenzungslinien Q , bzw. P abweicht. Dieser Winkel σ ist der sog. Schmiegewinkel.

Mit Hilfe desselben können für die Bearbeitung des Wölbsteines die nöthigen Punkte der am Steine auftretenden Schraubenlinien leicht fest gelegt werden. So ist für den Punkt k , am Steine G zunächst $P/$ aus der Fläche $U = P/$ am Steine zu nehmen und lk winkelrecht zur P -Linie vorzureißen, alsdann, durch k , dem Schmiegewinkel σ entsprechend, die Linie kk , parallel UV zu ziehen und endlich kk , gleich der Länge ih in der lothrechten Projection des Wölbsteines zu nehmen. Würde nun ih , gleich und parallel kk , gearbeitet, so ist h , ein Punkt der Schraubenlinie α an Wölbsteine. Dieses Uebertragen der Punkte der Schraubenlinie wird durch die vorhin schon erwähnten Brettungen K erleichtert, welche an die betreffenden ebenen Seitenflächen des Werkstückes gelegt werden können und hier das Vorreißen der Projectionen der Schraubenlinien gestatten.

Sind die einzelnen Stücke des Wölbsteines bis zu den betreffenden Schraubenlinien abgearbeitet und die Flächen für die ebenen Stofsugenflächen vermöge der zugehörigen Begrenzungslinien $\alpha\beta$, bzw. $\delta\epsilon$ hergerichtet, so sind die Schablonen N , der Stofsugenflächen anzulegen, wonach alsdann die Steinstücke oder Boffen an den Laibungs- und Rückenflächen zwischen den bereits erhaltenen Schraubenlinien sorgfältig fortgenommen werden können. Bei der Darstellung \mathcal{F} sind diese Stücke beseitigt, während oben und unten die den Brettungen B_o und B_w entsprechenden Boffen bis zu den ihnen zukommenden Schraubenlinien noch belassen sind.

Wie später bei der Ausführung der schiefen Tonnengewölbe erörtert wird, kann entsprechend der schon aufgestellten Gleichung 128 (S. 174) für das Festlegen der Curven $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$ der Brettung B_w und eben so für die Curven $\delta\delta$ und $\epsilon\epsilon$ der Brettung B_o je ein Kreisbogenstück mit einem bestimmten Krümmungshalbmesser genommen werden. Ist z. B. ρ_α der gefuchte Halbmesser für die Curve $\alpha\alpha$ der Brettung B_w , so wird

$$\rho_\alpha = \frac{r_\alpha}{\sin \sigma^2}.$$

Eben so wird, wenn ρ_δ der gefuchte Halbmesser für die Curve $\delta\delta$ der Brettung ist,

$$\rho_\delta = \frac{r_\delta}{\sin \sigma^2} \text{ u. f. f.}$$

In diesen Ausdrücken ist r_α gleich dem Halbmesser $m\alpha$, r_δ gleich dem Halbmesser $m\delta$ der im Grundriß fest gelegten Kreisbogen A , bzw. D , während σ den Winkel bezeichnet, welchen die untere, bzw. obere Rechteckseite des die lothrechte Projection des Wölbsteines umschließenden Rechteckes mit dem Lothe LL bildet. Diese Rechteckseiten sind in der Zeichnung parallel mit uv gelegt.

Nach den Abmessungen in der Zeichnung ist $\sin \sigma = \frac{Wu}{u s_0} = \frac{6,9}{7,4}$; ferner ist

$$r_\alpha = m\alpha = 4 \text{ m} \quad \text{und} \quad r_\delta = m\delta = 4,88 \text{ m.}$$

Hiernach ist

$$\rho_\alpha = \frac{4}{\left(\frac{6,9}{7,4}\right)^2} = 4,60 \text{ m} \quad \text{und} \quad \rho_\delta = \frac{4,88}{\left(\frac{6,9}{7,4}\right)^2} = 5,88 \text{ m.}$$

Auf gleichem Wege lassen sich die Krümmungshalbmesser für $\beta\beta$ an B_u , bezw. für $\varepsilon\varepsilon$ an B_o berechnen und somit unter Benutzung der betreffenden Krümmungshalbmesser die Schablonen B_u und B_o in erleichterter Weise in natürlicher GröÙe aufzeichnen.

Für die Ausführung der Schneckengewölbe in Backstein- oder Bruchsteinmaterial ist hinsichtlich der Stellung und des Verbandes der Wölbsteine mit Sorgfalt zu verfahren.

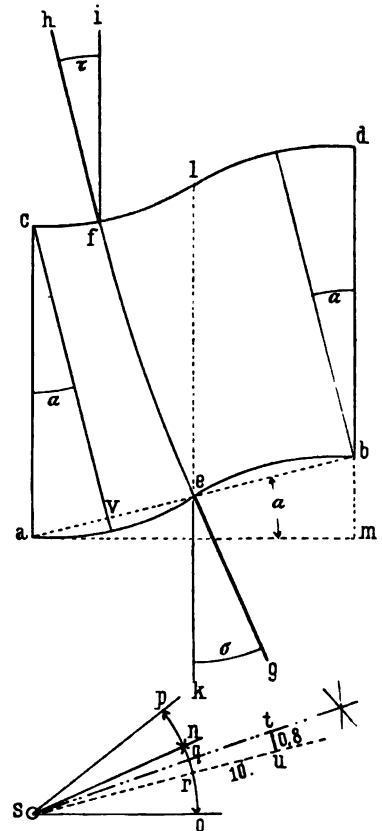
Das Aufstellen der Lehrbogen hat, der schraubenförmig aufsteigenden Gewölboxe entsprechend, in gleichen wagrechten, nicht zu groß zu nehmenden Entfernungen der mittleren Lothlinien der Bogen so zu geschehen, daß jeder lothrecht gestellte Lehrbogen gleichsam in einem Mittelpunktsschnitte steht und jeder folgende Lehrbogen um die Steighöhe, welche den wagrechten Entfernungen ihrer mittleren Lothlinien zukommt, höher gestellt wird, als der unmittelbar vorher befindliche Lehrbogen. Die Schalung der Lehrbogen wird aus thunlichst schmalen, nicht zu langen Leisten, welche nach vorherigem Erweichen in Wasser etwas biegsam sind, hergestellt. Bei schweren Gewölben werden unter Umständen mehrere über einander befindliche Lagen solcher Leisten erforderlich. Bei der Verschalung ist man bemüht, die Oberfläche derselben möglichst genau der Laibungsfläche des schraubenförmigen Gewölbes anzupassen, und man hat dem gemäß die einzelnen Leisten in ihren Kanten etwas nachzuarbeiten.

Ueber die allgemeine Gestaltung der schiefen Tonnengewölbe ist bereits in Art. 134 (S. 164) das Nöthigste gesagt.

Für die besondere Ausführung derselben kommen noch einige Punkte in Betracht, welche hier näher berührt werden sollen. In den meisten Fällen wird für die Ausführung der schiefen Gewölbe aus Werkstücken der früher gekennzeichnete sog. englische Fugenschnitt in den Vordergrund treten, wobei der constante Fugenwinkel für die Richtung der Lagerkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche des Gewölbes maßgebend wird. Die GröÙe dieses Winkels bedingt die Steigung der Schraubenlinien der Lagerkanten und damit die mehr oder weniger stark von Stirn zu Stirn, bezw. vom Kämpfer zur Stirn ansteigenden Schraubenflächen der Lager- und weiter der Stoßflächen der Wölbsteine. Ist jener Winkel zu groß, so kann ein Gleiten der Steine auf den Lagerflächen und hiernach ein Ausbauchen an der Gewölbstirn eintreten. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, läßt man für den constanten Fugenwinkel einen Grenzwert gelten, welcher wie folgt fest gesetzt wird.

Ist in Fig. 348 $abcd$ die abgewickelte Laibungsfläche eines schiefen Gewölbes, aeb die Verbindungsebene der abgewickelten Stirnlinie, cv ein Loth auf der Geraden ab , so giebt nach dem in Art. 134 (S. 171) Gefagten der $\sphericalangle acv = \sphericalangle bam = \sphericalangle \alpha$ den constanten Fugenwinkel. Bestimmt man nach den an

Fig. 348.



der angezogenen Stelle gemachten Mittheilungen die Scheiteltrajectorie ef , so weicht die im Elemente e dieser Curve gezogene Tangente eg um $\sphericalangle g e k = \sphericalangle \sigma$ und die im Elemente f der Trajectorie geführte Tangente fh um $\sphericalangle h f i = \sphericalangle \tau$ von der Richtung der Scheitellinie lek , bezw. von der ihr parallelen Linie if ab. Im Allgemeinen haben die Winkel σ und τ eine vom Winkel α abweichende Gröfse. Nimmt man aus den beiden Werthen der Winkelgrößen σ und τ den Durchschnitt, so soll erfahrungsmäßig, um den vorhin erwähnten Uebelstand nicht herbeizulassen, der Unterschied zwischen der Gröfse dieses Durchschnittswinkels und dem Winkel α die Gröfse von 8 Grad nicht überschreiten.

In der Zeichnung sind die beiden Winkel $\sigma = osn$ und $\tau = nsp$ zum Winkel osp zusammengetragen; der Winkel osp ist durch den Strahl sq halbt und hierdurch der Durchschnittswert von $\sigma + \tau$ als Winkelgröfse qso erhalten. Sodann ist $\sphericalangle \alpha = osr$ eingetragen, so daß jetzt im $\sphericalangle qsr$ der Unterschied zwischen qso und α bestimmt ist. Im rechtwinkligen Dreiecke sut ist die Kathete su gleich 10 Einheiten eines beliebigen Maßstabes genommen; die Bestimmung der Länge tu der zweiten Kathete nach demselben Maßstabe ergibt die Gröfse von 0,8 Einheiten. Mithin ist $\text{tg } tsu = \frac{0,8}{10} = 0,08$.

Diese Zahl entspricht einem Winkel von $\approx 4^\circ 34'$. Derselbe ist also von dem Grenzwert $= 8$ Grad noch weit entfernt, und dieserhalb kann das in der Zeichnung behandelte Gewölbe unter Benutzung des constanten Fugenwinkels zur Ausführung kommen. Würde der bezeichnete Unterschied die Gröfse von 8 Grad übertreffen, so wäre, wenn sonst eine Aenderung der ganzen Gewölbeanlage unstatthaft ist, der strenge oder fog. französische Fugenschnitt in Anwendung zu bringen.

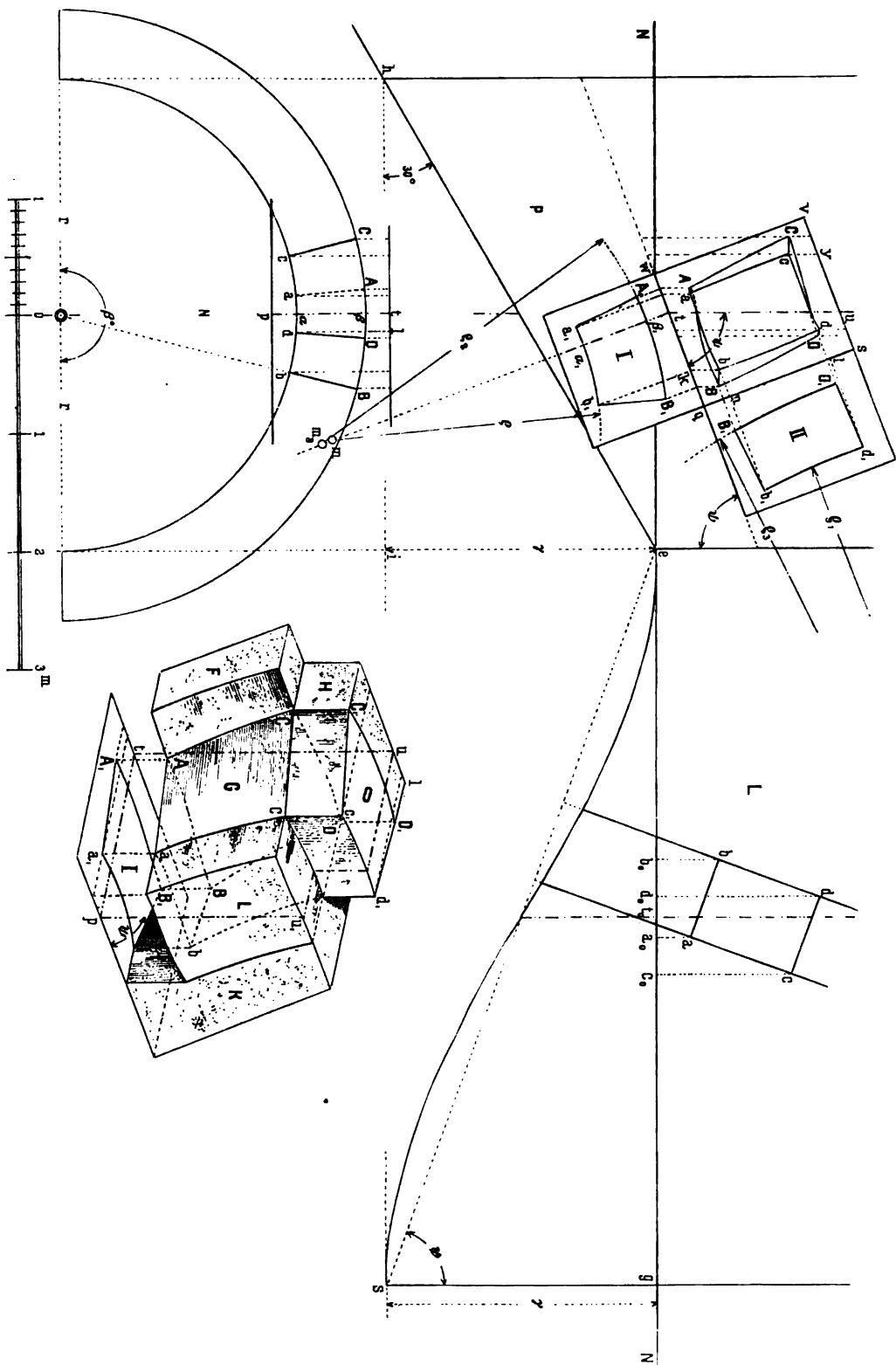
Für die praktische Ausführung wird unter Anwendung des constanten Fugenwinkels der Normalschnitt des schiefen Gewölbes als Kreisbogen genommen, so daß der Stirnbogen ein elliptischer Bogen wird. Die Theilung für die Wölbsteine erfolgt nach den in Art. 134 (S. 173) gegebenen Erörterungen. Da hiernach alle Wölbsteine mit Ausnahme der Steine mit besonders abgestumpften Ecken in den Bogenanfängen und an den Stirnen des Gewölbes nach den gleichen Brettungen bearbeitet werden können, so ist hierdurch eine weit größere Erleichterung für die Herstellung der Wölbsteine geschaffen, als wenn umgekehrt der Stirnbogen des schiefen Gewölbes ein Kreisbogen und der Normalschnitt ein elliptischer Bogen ist. In diesem Falle können mit geringen Ausnahmen die einzelnen Wölbsteine eben so wenig, wie beim französischen Fugenschnitte, nach denselben Schablonen bearbeitet werden.

Bei der ersten Anordnung sind allerdings elliptische Lehrbogen, welche parallel zur Stirn aufgestellt werden, anzufertigen, während bei der letzten Anordnung kreisförmige Lehrbogen entstehen. Allein dieser Umstand ist für die erste Anordnung gegenüber den sonstigen Vortheilen bei den Wölbsteinen nicht von erheblicher Bedeutung.

Beim Ausmitteln der Brettungen eines Wölbsteines des in Fig. 349 näher behandelten schiefen Gewölbes kommen für die keilförmige Gestalt des Steines vorwiegend die Projectionen der Seitenflächen desselben auf Ebenen in Betracht, deren Spuren in der Bildtafel P durch wq und qs angedeutet sind. Beide Ebenen stehen hier rechtwinklig auf einander und gleichzeitig lothrecht zur Bildtafel, während sie mit der durch die Axe tu des Gewölbes geführten, ebenfalls rechtwinklig zur Bildtafel stehenden Ebene einen Winkel ψ , bezw. $90 - \psi$ einschließen.

Ist die Laibungsfläche des Gewölbes die Fläche eines Kreiscylinders mit dem Halbmesser r , dessen Leitlinie in der rechtwinklig zur Cylinderaxe geführten Ebene NN liegt, so schneiden die durch wq und qs bestimmten Ebenen den Kreiscylindermantel nach Ellipsen, deren Axenlängen berechnet werden können, sobald r und Winkel ψ gegeben sind.

Ist vorweg nach Fig. 350 der Winkel ψ willkürlich von einer Gröfse σ angenommen, ist übrigens aber an der Stellung der beiden sich schneidenden Ebenen CD und EF , welche wq und qs entsprechen sollen, nichts weiter geändert, als daß sich dieselben auf der Cylinderaxe sm in einer rechtwinklig zur



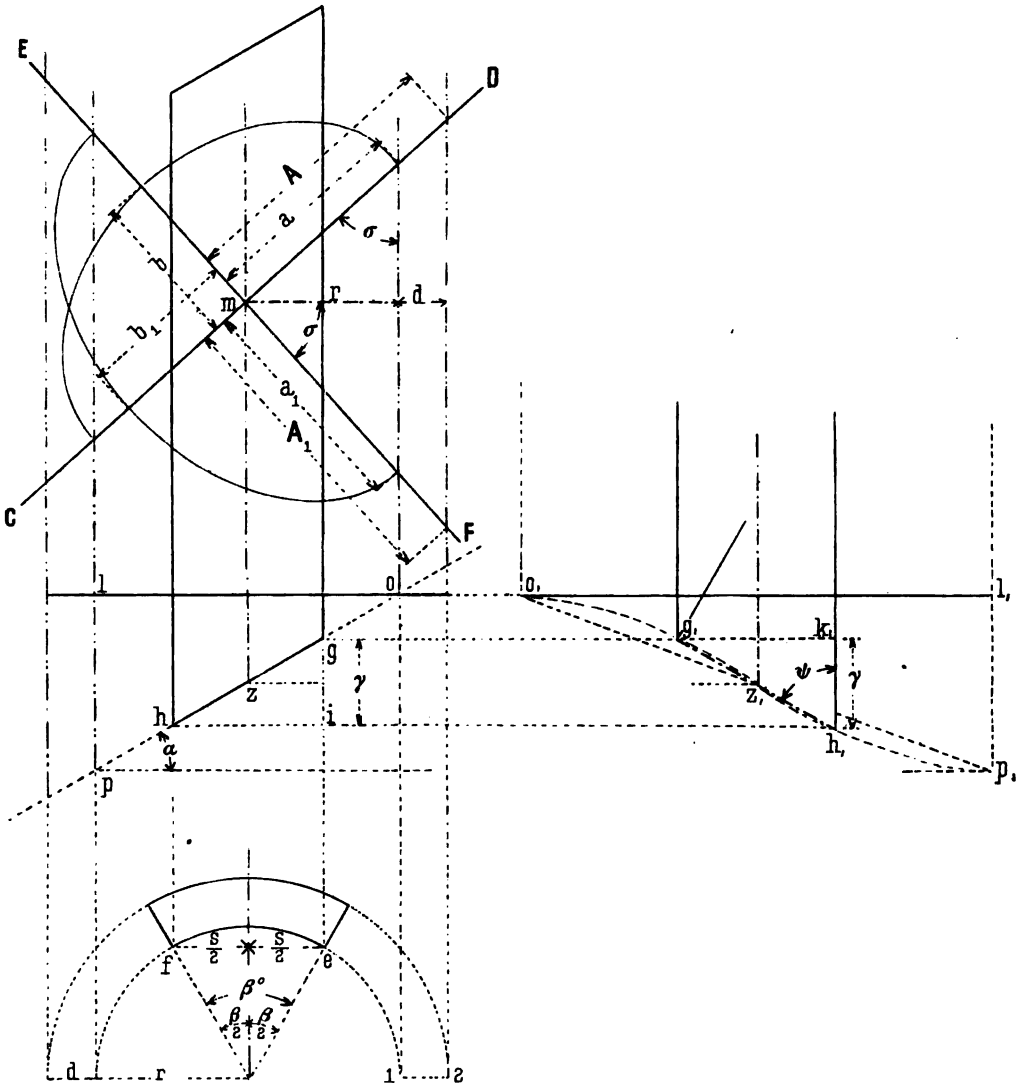
Bildtafel stehenden geraden Linie treffen; so wird die Länge dieser geraden Linie von der Cylinderaxe bis zum Cylindermantel gleich dem Halbmesser r der Leitlinie des Cylinders und sofort auch gleich der Länge der Halbaxen b , bezw. b_1 der erwähnten Ellipsen.

Für die Cylinderfläche r mit einem Kreise vom Halbmesser r als Leitlinie liefert die schneidende Ebene CD eine Ellipse mit den Halbaxen a und b .

Unter Bezugnahme auf Fig. 350 ist

$$a = \frac{r}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad b = r. \quad . \quad . \quad . \quad 165.$$

Fig. 350.



Eben so gibt für dieselbe Cylinderfläche r die schneidende Ebene EF eine Ellipse, deren Halbaxen

$$a_1 = \frac{r}{\cos \sigma} \quad \text{und} \quad b_1 = r \quad . \quad . \quad . \quad 166.$$

werden.

Für die Cylinderfläche s , deren normale kreisförmige Leitlinie einen Halbmesser $r + d$ besitzt, entpringt bei der schneidenden Ebene CD eine Ellipse mit den Halbaxen

$$A = \frac{r + d}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad B = r + d; \quad . \quad . \quad . \quad 167.$$

eben so bei der schneidenden Ebene EF eine solche mit den Halbaxen

$$A_1 = \frac{r+d}{\cos \sigma} \text{ und } B_1 = r+d. \quad 168.$$

Bezeichnet ρ den Krümmungshalbmesser im Endpunkte der Halbaxe b der für CD in Frage kommenden Ellipse der Cylinderfläche \mathcal{L} , so ist

$$\rho = \frac{a^2}{b},$$

d. h. nach Gleichung 165

$$\rho = \frac{\left(\frac{r}{\sin \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\sin \sigma^2}. \quad 169.$$

Ist ferner ρ_1 der Krümmungshalbmesser im Endpunkte der Halbaxe b_1 der für EF geltenden Ellipse der Cylinderfläche \mathcal{L} , so wird

$$\rho_1 = \frac{a_1^2}{b_1}$$

oder nach Gleichung 166

$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{r}{\cos \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\cos \sigma^2}. \quad 170.$$

In gleicher Weise erhält man für die Ellipsen der Cylinderfläche \mathcal{L} bei der Ebene CD

$$\rho_2 = \frac{r+d}{\sin \sigma^2}. \quad 171.$$

und bei der Ebene EF

$$\rho_3 = \frac{r+d}{\cos \sigma^2}. \quad 172.$$

Ist α der Winkel der Schiefe und β der Centriwinkel eines Kreisbogens ef mit dem Halbmesser r , welcher als Normalschnitt eines schiefen Gewölbes fest gesetzt ist, so ist $gi = k, h, = \gamma$, gleich dem in der Richtung der Gewölbaxe gemessenen Abstände des einen Endes des schrägen Hauptes von dem anderen, und man erhält, da $hi = fe = s$ ist,

$$\gamma = s \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

oder, da $\frac{s}{r} = \sin \frac{\beta}{2}$, also $s = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2}$ ist, auch

$$\gamma = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2} \operatorname{tg} \alpha. \quad 173.$$

Die abgewinkelte Bogenlänge von $ef = g, k$, ist $= \frac{\pi r}{180^\circ} \beta^\circ$. Betrachtet man das in der Abwicklung der Laibungsfläche des schiefen Gewölbes aus g, k , der Länge γ und der Sehne g, h , der abgewinkelten Stirnlinie gebildete rechteckwinklige Dreieck g, k, h , so ist in demselben

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{g_1 k_1}{\gamma} = \frac{\pi r \beta^\circ}{180^\circ \gamma}, \quad 174.$$

worin γ nicht weiter durch den Werth aus Gleichung 173 ersetzt werden soll.

Nimmt man nunmehr den früher beliebig angenommenen Winkel σ so an, daß derselbe gleich Winkel ψ wird, so erhält man nach Gleichung 169

$$\rho = \frac{r}{\sin \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = \frac{r(1 + \operatorname{tg} \psi^2)}{\operatorname{tg} \psi^2} = r + \frac{r}{\operatorname{tg} \psi^2}$$

oder unter Benutzung von Gleichung 174

$$\rho = r + r \left(\frac{180^\circ \gamma}{\pi r \beta^\circ}\right)^2 = r + \left(\frac{180^\circ \gamma}{\pi \beta^\circ}\right)^2 \frac{1}{r}. \quad 175.$$

und ferner nach Gleichung 170

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = r(1 + \operatorname{tg} \psi^2),$$

d. h. unter Verwerthung von Gleichung 174

$$\rho_1 = r \left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^\circ}{180^\circ \gamma}\right)^2\right] = r + \left(\frac{\pi r \beta^\circ}{180^\circ \gamma}\right)^2 r. \quad 176.$$

Die beiden Gleichungen 175 u. 176 stimmen mit den früher gefundenen Ausdrücken für die Krümmungshalbmesser der Schraubenlinien der Gleichungen 127 u. 130 (S. 174), wie vorauszusehen war, vollständig überein.

Für die Ellipsen der Cylinderfläche z , also der Rückenfläche des schiefen Gewölbes, ergibt sich unter der Bestimmung $\sigma = \psi$ und bei der Benutzung von Gleichung 171 nach Gleichung 175

$$\rho_2 = (r + d) \left[1 + \left(\frac{180^\circ \gamma}{\pi r \beta^0} \right)^2 \right], \quad \dots \quad 177.$$

so wie nach Gleichung 176

$$\rho_3 = (r + d) \left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^\circ \gamma} \right)^2 \right]. \quad \dots \quad 178.$$

Da die Abmessungen der einzelnen Wölbsteine im Verhältniß zu den Halbmessern der Leitlinien der Cylinderflächen immer noch als klein anzusehen sind, so können, wie schon in Art. 134 (S. 173) erwähnt ist, die Krümmungshalbmesser ρ , ρ_1 , ρ_2 und ρ_3 zur Bestimmung der Brettungen, bezw. der keilförmigen Verjüngung der Wölbsteine benutzt werden. Bei recht großen Abmessungen der Wölbsteine hätte man für die Brettungen die von den zugehörigen Ellipsen begrenzten Flächenstücke in Betracht zu ziehen. Die Längen der reellen Axen dieser Ellipsen ergeben sich nach den Gleichungen 165 bis 168.

Beispiel. Für ein schiefes Gewölbe (Fig. 349) sei der Normalschnitt N ein Halbkreis mit dem Halbmesser $r = 2$ m; die Dicke d des Gewölbes betrage 0,8 m; der Winkel α der Schiefe sei 30 Grad, und der Centriwinkel β ist 180 Grad.

Man erhält nach Gleichung 173

$$\gamma = 2 \cdot 2 \cdot \sin 90^\circ \cdot \tan 30^\circ = 4 \tan 30^\circ = 4 \cdot 0,5774 = \approx 2,31 \text{ m.}$$

Alsdann ist nach Gleichung 175

$$\rho = 2 + \left(\frac{180 \cdot 2,31}{3,1416 \cdot 180} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 2,27 \text{ m.}$$

Ferner wird nach Gleichung 176

$$\rho_1 = 2 + \left(\frac{3,1416 \cdot 2 \cdot 180}{180 \cdot 2,31} \right)^2 \cdot 2 = 16,80 \text{ m.}$$

Endlich liefern die Gleichungen 177 u. 178

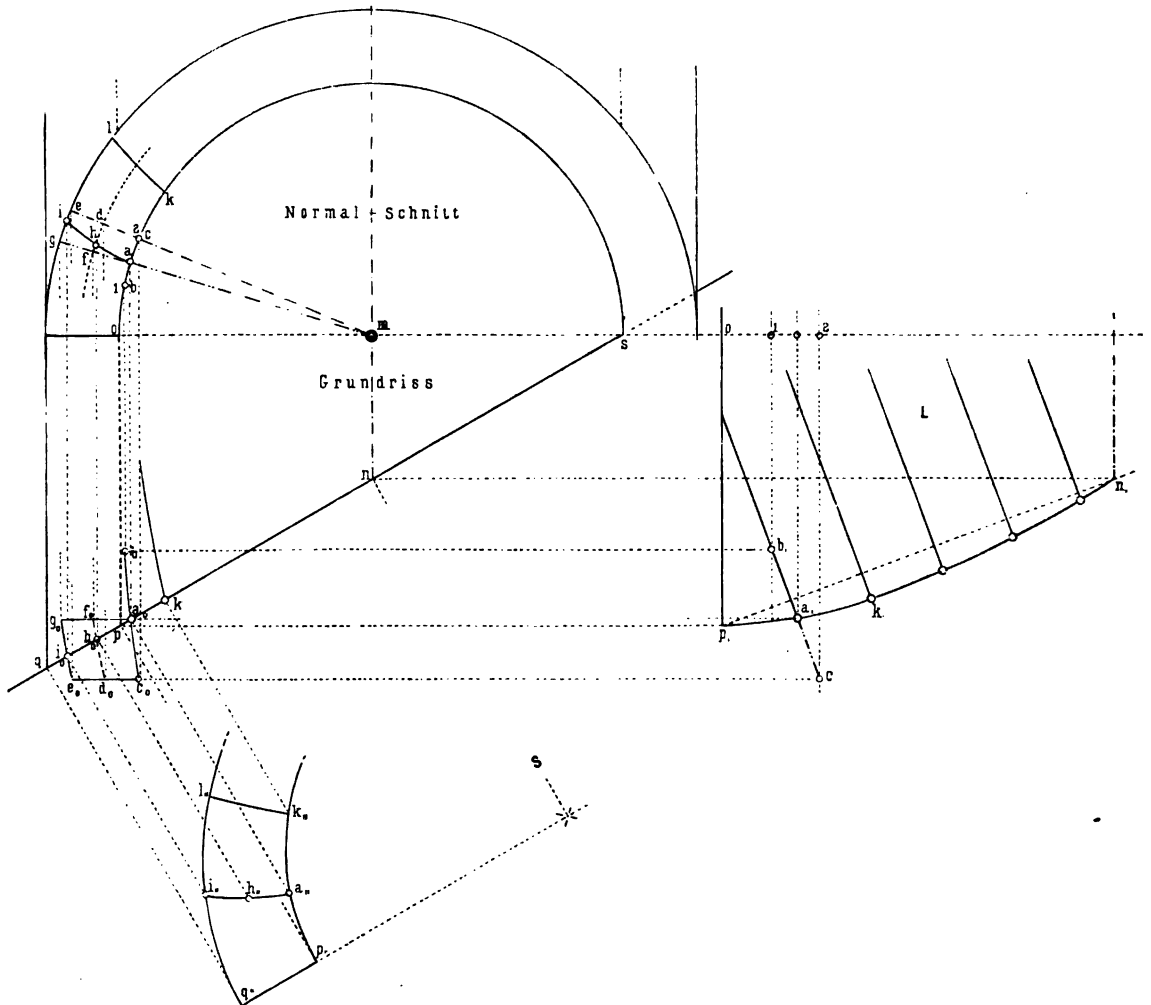
$$\rho_2 = 2,95 \text{ m} \quad \text{und} \quad \rho_3 = 21,84 \text{ m.}$$

Sind, wie in Fig. 349 geschehen, die Projectionen des Wölbsteines nach den in Art. 134 (S. 171) gemachten Angaben, hier jedoch ohne weitere Zuhilfenahme der abgewinkelten Rückenfläche des Gewölbes, bestimmt; sind ferner durch das hier mit einem, der Deutlichkeit wegen übertrieben großen, Uebermaße (Arbeitszoll) verfehene Rechteck $qsvw$, welches die lothrechte Projection des Wölbsteines umschließt, die Länge und Höhe des Werkstückes, so wie durch die Länge der Linie pt im Plane N die Dicke dieses Quaders, woraus der Wölbstein gefertigt werden soll, fest gesetzt — so ist z. B. für die Brettung I zunächst nur nöthig, den Punkt a_1 , wofür $ta_1 = ta$ im Plane N und den Punkt β_1 , wofür $t\beta_1 = t\beta$ desselben Planes N ist, einzutragen. Verlängert man die Gerade $\beta_1 a_1$ und nimmt man $a_2 m = \rho$, $\beta_2 m_2 = \rho_2$, so sind m und m_2 die Mittelpunkte für die Kreisbogen, auf welchen die Punkte a_1 , b_1 , so wie A_1 , B_1 liegen. Die Lage dieser Punkte ist aus den Projectionen leicht zu bestimmen. Die Linien $a_1 A_1$ und $b_1 B_1$ sind gerade Linien. Für die Brettung II liegen die Punkte b_2 und d_2 auf einem Kreisbogen vom Halbmesser ρ_1 , während die Punkte B_2 und D_2 auf einem Kreisbogen vom Halbmesser ρ_3 sich befinden. Die Lagen von b_1 , d_1 und B_1 , D_1 ergeben sich in einfacher Weise aus den Projectionen des Wölbsteines, indem z. B. für den Punkt d_1 der Brettung II die Ordinate $ld_1 = ld$ im Plane N ist u. f. f. Auch bei dieser Brettung sind $b_2 B_2$ und $d_2 D_2$ gerade Linien. Ueber das Anlegen der Brettungen I und II an das betreffende Werkstück und das Bearbeiten desselben, unter Heranziehen der für die Schraubenlinien ab , bd u. f. f. der lothrechten Projection des Wölbsteines angefertigten Schablonen, gilt wesentlich das in Art. 171 (S. 248) beim Schneckenengewölbe angegebene Verfahren. Hier ist nur zu bemerken, daß die Brettung I sowohl für die obere, als auch für die untere Steinfläche, die Brettung II ebenfalls für die vordere und hintere Steinfläche zu benutzen sind, wenn diese Schablonen nur entsprechend den Lagen der zugehörigen Grenzpunkte des Wölbsteines auf den zu bearbeitenden Stein gelegt werden.

Der in Fig. 349 im Bilde gegebene Stein zeigt wohl genügend die unter Beobachtung der Geraden ut , bezw. u, p , welche durch den Schmiegewinkel ψ bestimmt sind, erforderlichen Handhabungen für das Anlegen der Brettungen und das danach einzuleitende Bearbeiten des Gewölbesteines G , welcher nach Befestigung der Boffen O , F , L , K entsteht.

Eine besondere Aufmerksamkeit erfordert bei der Anwendung des englischen Fugenschnittes die Bearbeitung der Stirnsteine. Die Stirnebene des Gewölbes schneidet die schraubenförmigen Lagerfugenflächen desselben im Allgemeinen in nach unten convexen Curven, so daß für jeden rechts und links symmetrisch vom Schlussstein liegenden Wölbstein eine besondere Stirnschablone nöthig wird. In Fig. 351 ist für einen Stein eine Stirnbrettung $a,, i,, k,, l,,$ ermittelt.

Fig. 351.



Der Normalschnitt des schiefen Gewölbes ist als Halbkreis angenommen und in L ein Stück der Abwicklung der Laibungsfläche des Gewölbes gezeichnet.

Auf der Fläche L sind die durch a, k , u. f. f. rechtwinkelig auf p, n , stehenden, abgewinkelten Lagerfugenkanten eingetragen, wobei die Kante b, a , noch beliebig bis c , verlängert ist. Hier liegt der Punkt c , auf der Erzeugenden z , wofür die Länge oz gleich der Bogenlänge oz im Normalschnitte ist. Da die Lagerfugenflächen dadurch erzeugt werden, daß in jedem Punkte der schraubenförmigen Lagerkante eines Wölbsteines eine gerade Linie vorhanden sein soll, welche normal zur inneren Gewölbfäche steht, so giebt der im Normalschnitte durch m und z geführte Halbmesser me diese gerade Linie in der Strecke ce an. Der Punkt e ist der Durchstoßpunkt derselben mit der Rückenlinie des Gewölbes; die wagrechte Projection der Geraden ce ergibt sich auf der Spur der durch c , parallel zum Normalschnitt geführten Ebene als $c_0 e_0$. Wird zwischen den Punkten c und e des Normalschnittes noch irgend ein

durch d geführter Kreis gelegt, welcher als Leitlinie einer Cylinderfläche angesehen werden kann, so würde auch d ein Durchstoßpunkt von ce mit dieser Cylinderfläche sein. Die wagrechte Projection desselben ist d_0 .

Verfährt man in gleicher Weise mit der Geraden ag , so erhält man die wagrechten Projectionen der Durchstoßpunkte a, f, g in a_0, f_0, g_0 . Setzt man diese Darstellungen fort, so ergeben sich offenbar in $c_0 a_0, d_0 f_0$ und $e_0 g_0$ die wagrechten Projectionen von Schraubenlinien, welche auf den durch c , bezw. a gehenden Lagerflächen liegen.

Diese Schraubenlinien durchschneiden die Stirnebene qs des schiefen Gewölbes in den Punkten a_0, h_0 und i_0 . Die lothrechten Projectionen befinden sich bezw. auf den durch a, d und e gehenden Kreifen des Normalschnittes, sind also in a, h und i bestimmt. Die Verbindungslinie ah dieser Punkte ist die lothrechte Projection der Schnittlinie der Schraubenfläche, welche der durch a gehenden Lagerkante zukommt, mit der Ebene der Gewölbstirn.

Projicirt man diese Schnittlinie in die Stirnebene S auf bekanntem Wege, so erhält man die wirkliche Gestalt a, h, i , derselben.

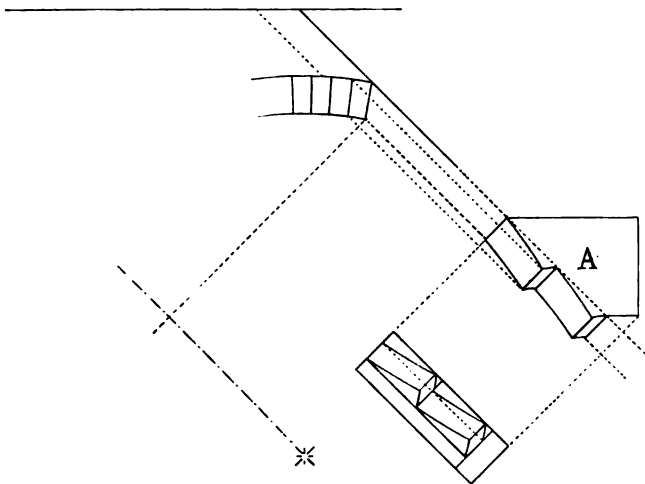
Wendet man das angegebene zeichnerische Verfahren auch für die durch k gehende Lagerkante

an, so erhält man in k, l , die zugehörige Schnittlinie und in dem ebenen Flächenstücke a, h, i, l, k , die nöthige vordere Brettung für den hier gewählten Stirnstein.

Die Bestimmung der Brettungen für die Kämpfersteine wird, nachdem die Projectionen derselben ermittelt sind, so weit dabei die Ansätze für die Wölbsteine in Frage kommen, nach den für diese Steine gegebenen Vorschriften bewirkt. Die übrigen Begrenzungsflächen ergeben sich als Ebenen, welche unmittelbar nach den Projectionen derselben fest gelegt werden können. Bei nicht sehr breiten Wölbsteinen läßt man zweckmäfsig zwei Wölbcharen gegen einen Kämpferstein A treten, welcher alsdann, wie Fig. 352 zeigt, eine dem entsprechende Länge erhält.

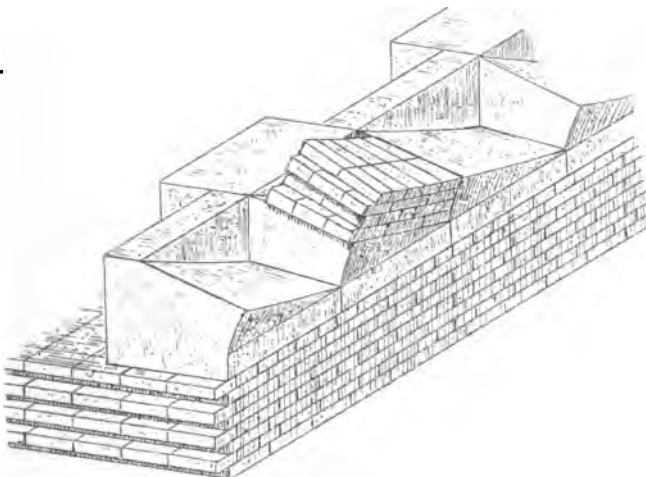
Schiefe Gewölbe, welche vollständig aus Hausteinen hergestellt werden sollen, sind in Folge der erheblicheren, durch die besondere Gestalt der Wölbsteine entspringenden Steinhauerarbeiten nicht billig. Um die Kosten für schiefe Gewölbe zu vermindern, können dieselben auch aus Backsteinmaterial ausgeführt werden, wobei jedoch unter sonstiger Beobachtung

Fig. 352.



tionen derselben fest gelegt werden können. Bei nicht sehr breiten Wölbsteinen läßt man zweckmäfsig zwei Wölbcharen gegen einen Kämpferstein A treten, welcher alsdann, wie Fig. 352 zeigt, eine dem entsprechende Länge erhält.

Fig. 353.



des englischen oder auch des französischen Fugenschnittes, zur Vermeidung des häßlichen und unzweckmäßigen Verhauens der Backsteine an den Kämpfern und den Häuptionen, sowohl die Kämpfersteine als auch die Stirnsteine am rathsamsten aus Quadern, wie in Fig. 353 u. 354 angegeben, angefertigt werden. Zwischen den zusammengehörigen Kämpfer- und Stirnsteinen sind alsdann die aus Backstein bestehenden Wölbcharen in regelrechtem Verbands in gewöhnlicher Wölbweise einzubringen.

Um die Schwierigkeiten, welche bei der Ausführung von schiefen Gewölben in gewissem Grade immer entstehen, zu beseitigen, können verschiedene mehr oder weniger gute Aenderungen in der Gewölbebildung derselben vorgenommen werden. Die einfachste Anordnung zum Umgehen des rechtmäßigen Wölbens schiefer Gewölbe besteht nach Fig. 355 darin, daß man einzelne parallel zur Stirn gestellte Gurtbögen 1, 2 u. f. f. als kurze gerade Tonnengewölbe neben einander ausführt, welche unter sich eine Verbindung durch eiserne Anker erhalten. Die gesammte Laibungsfläche dieser Gewölbebildung zeigt alsdann fischelartige lothrechte Flächen neben den cylindrischen Flächen der Gurte, wodurch kein besonders schönes Aussehen entspringt. Zweckmäßig werden

Fig. 354.

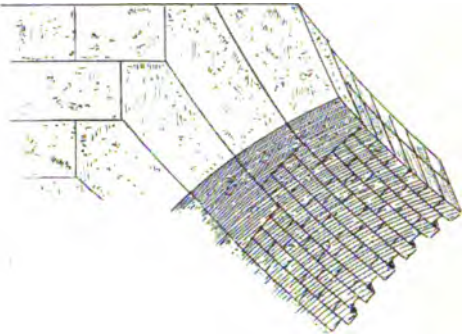
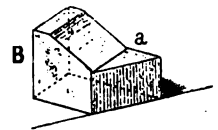
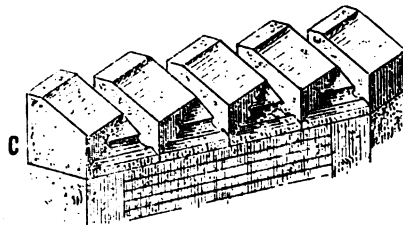
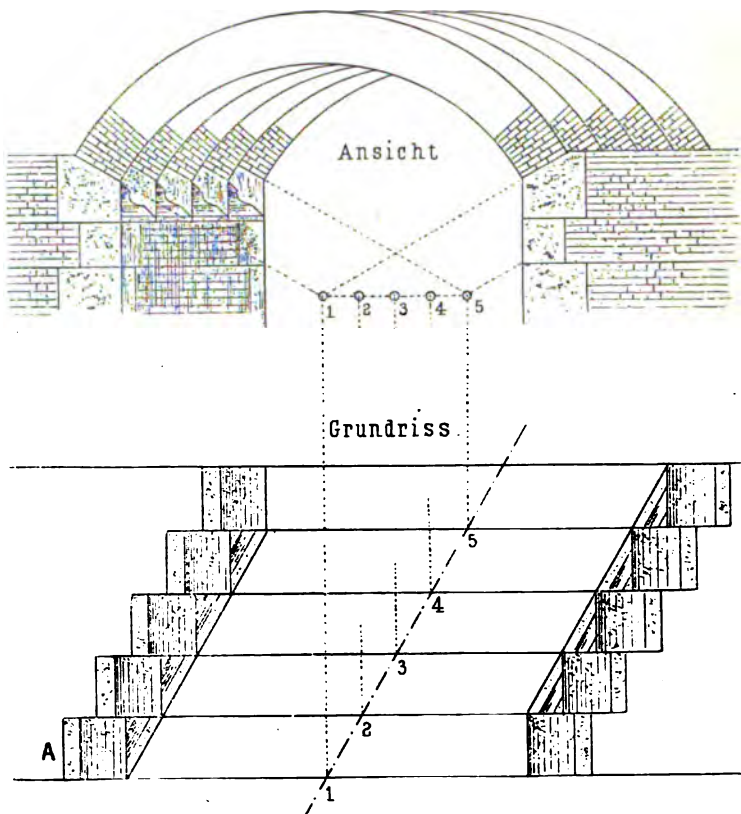
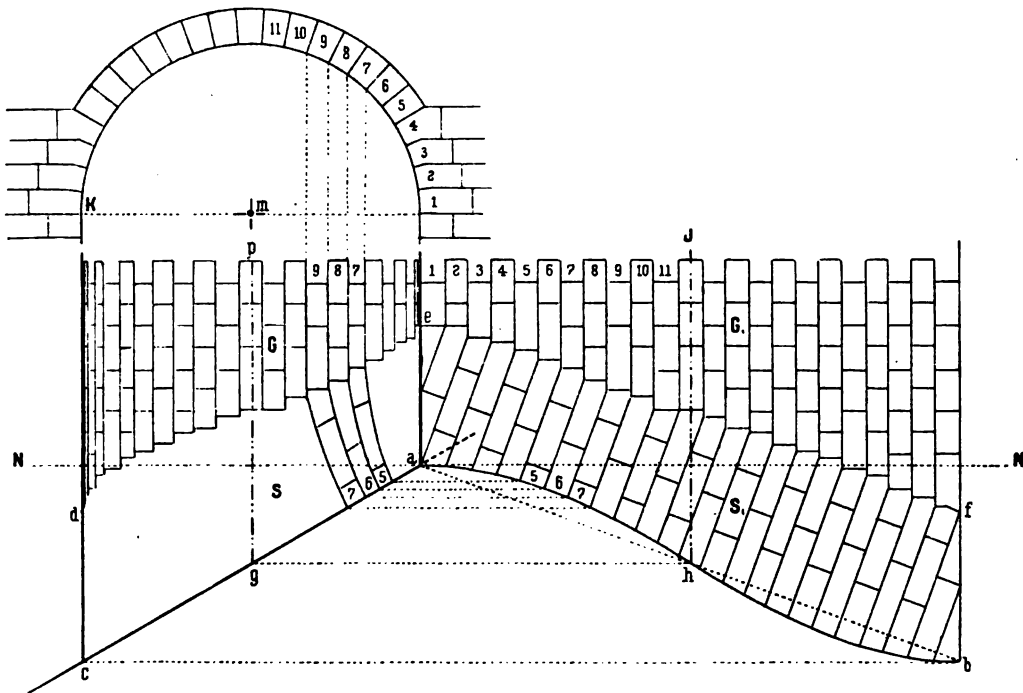


Fig. 355.



die Kämpfersteine *A* auch bei solchen Anlagen aus Werkstücken angefertigt, welche entweder, wie bei *B*, mit der dreieckigen wagrechten Fläche *a* belassen oder, wie bei *C*, mit einem Eckauslauf versehen werden. In langen schiefen Gewölben kann vortheilhaft bei Quadermaterial, wie Fig. 356 giebt, an den Stirnen ein Stück *S* als schiefes Gewölbe mit richtigem englischen oder, wenn man will, mit französischem Fugenschnitt ausgeführt und hiermit ein längeres als gerades Gewölbe angeordnetes Stück *G* in Verbindung gebracht werden. Die Ausmittlung des Steinverbandes ist aus der Zeichnung unter Beachtung der abgewickelten Laibungsfläche des schiefen Gewölbes ersichtlich. Durch eine derartige Anordnung wird an den Kosten für das Bearbeiten der Wölbsteine erheblich gespart.

Fig. 356.



Sollte das Stück des geraden Gewölbes *G* aus Backstein ausgeführt werden, während die schiefen Quadergewölbe *S* verblieben, so erwachsen dabei keine Schwierigkeiten.

Bei längeren schiefen Gewölben, welche vollständig aus Backsteinmaterial ausgeführt werden sollen, ist ein Verband anzuordnen, welcher in Fig. 357 näher gekennzeichnet ist.

Wieder ist an den Häuptern ein kürzeres Stück *S* eines schiefen Gewölbes, dazwischen aber ein längeres Stück *G* eines gewöhnlichen geraden Gewölbes angeordnet. Die Lagerkanten der schiefen Gewölbetheile bilden in der Abwicklung *L* der Laibungsfläche des Gewölbes mit dem Kreisbogen *K* concentrische Kreisbogen *C*. Der gemeinschaftliche, auf der Fläche *L* liegende Mittelpunkt *s* dieser Kreisbogen ist der Schnittpunkt der verlängerten Grenzlinie *ab* des geraden Gewölbes *G* und der weiter geführten Sehne *DE* der abgewickelten Stirnlinie des schiefen Gewölbes *S*. Die Stofskanten der schiefen Gewölbesteile sind auf der abgewickelten Laibungsfläche in geraden Linien enthalten, welche einer radialen Richtung *sa*, *sd* u. f. f. folgen. Auf die Wölbfläche zurückgeschlagen, liegen die Stofskanten auf durchweg verschiedenen Schraubenlinien, wovon eine *dz* derselben, entsprechend *dz*, der Abwicklung, gezeichnet ist. Die auf die Wölbfläche zurückgebrachten kreisförmigen Lagerkanten bilden besondere Curven, welche

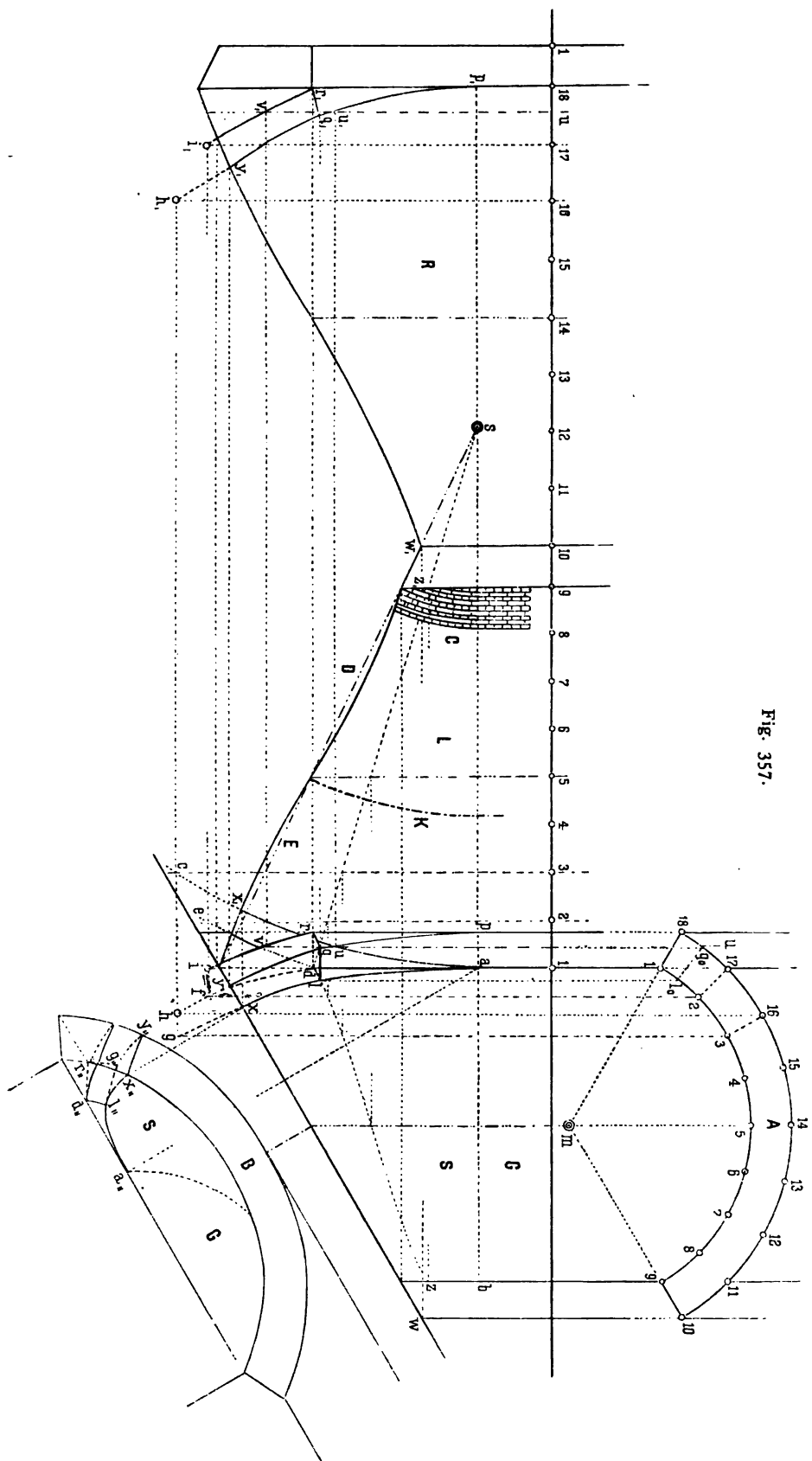


Fig. 357.

wie ag , entsprechend dem Kreisbogen ac der Abwicklung, oder wie df , entsprechend dem Kreisbogen de , mit Hilfe der Cylinder-Erzeugenden $1, 2, 3$, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, bestimmt werden können. Die Erzeugenden der Lagerfugenflächen sind gerade Linien, welche in jedem Punkte der Lagerkante streng genommen normal zur Laibungsfläche des cylindrischen Gewölbes stehen sollen. So ist z. B. für den Punkt l , dessen lothrechte Projection l_0 ist, die Gerade $l_0 q_0$, welche nach dem Mittelpunkte m des Normalschnittes des Gewölbes gerichtet wird, eine solche Erzeugende. Da dieselbe in einer rechtwinkelig zur Gewölbaxe stehenden Ebene liegt, so erhält man ihre wagrechte Projection in lq und hierdurch die Projection einer etwa hier vorhandenen Stoßflächenkante eines Backsteines. In gleicher Weise ist dr bestimmt. Ermittelt man auf dem schon früher in Fig. 280 angegebenen Wege die den Lagerkanten ag , df zugehörigen Rückenlinien $p q y h$, bzw. $r v i$, so ist die wagrechte Projection der Lagerfugenflächen für diese Lagerkanten zu erhalten.

Bringt man die Rückenlinien in die abgewinkelte Rückenfläche des Gewölbes R zurück, was mit Hilfe der Erzeugenden $16, 17, U, 18$ der Cylinderfläche leicht geschehen kann, so ergibt sich die allgemeine Anordnung des Fugenschnittes im schiefen Gewölbe S , wobei die Stoßfugenkanten dl, qr , Schraubenlinien folgend, sich ebenfalls in einfacher Weise ermitteln lassen.

In der Stirnanicht B sind die Curven a, l, x , und q, y , den Kantenlinien alx , bzw. qy entsprechend, eingetragen.

Wenngleich die hier gegebenen zeichnerischen Darstellungen bei der Berücksichtigung von Backsteinmaterial mehr in den Hintergrund treten können, so ist doch besonders darauf Rücksicht zu nehmen, sobald die in der Zeichnung behandelte Verbandart und Gewölbeanordnung für eine Quaderausführung in den schiefen Gewölbe-theilen in Anwendung kommen soll, zumal eine solche Lösung eine schönere Gestaltung des gesammten Gewölbes zulässt, als solche nach Fig. 356 möglich ist.

Für eine saubere und tadellose Ausführung der schiefen Gewölbe ist eine gute geschlossene Schalung der parallel zur Stirn aufgestellten Lehrbogen herzurichten. Auf dieser Schalung sind die Fugenlinien der Wölbsteine vorzureißen. Dieses Aufzeichnen der Fugenlinien mit Hilfe eines biegsamen Lineals (Blechstreifen) und des gebräuchlichen Winkeleisens wird namentlich beim englischen Fugenschnitt sehr einfach, sobald unter Benutzung einer gefärbten Schnur auch die erzeugenden geraden Linien der cylindrischen Wölbfläche, welche den einzelnen Fugenlinien nach Ausweis der Zeichnung in bestimmten Punkten angehören, mit aufgeschnürt werden. Diesen aufgezeichneten Fugenlinien folgend, werden die in den Schichten entsprechend bezeichneten Gewölbquader sorgsam versetzt. Bei schiefen Backsteingewölben werden natürlich die Fugenlinien nur gruppenweise für eine grössere Zahl von neben einander liegenden Wölbscharen aufgerissen.

Die Ausführung der einhüftigen Tonnengewölbe richtet sich genau nach der Bauweise, welche für das einfache gerade Tonnengewölbe angegeben ist. Da bei den einhüftigen Gewölben geschlossene Stirnmauern meistens fehlen oder doch nur als Blendmauern ab und an eingefügt auftreten, so kommt bei diesen Gewölben, gleichgiltig welches Material auch zur Einwölbung benutzt wird, wesentlich der gewöhnliche Verband auf Kuf in Anwendung.

173.
Einhüftige
Gewölbe.

10. Kapitel.

K a p p e n g e w ö l b e .

(Preussische Kappen.)

a) Gestaltung der Kappengewölbe.174.
Gestalt.

Das Kappengewölbe oder die preussische Kappe ist im Allgemeinen der obere Abschnitt eines geraden Tonnengewölbes. Seine Laibungsfläche ist demnach ein Theil der halben Oberfläche eines geraden Kreiscylinders, so daß die Wölblinie ein flacher Kreisbogen wird. Das Pfeilverhältniß dieser Wölblinie ist stets gering, so daß danach dieses Gewölbe als ein sog. flachbogiges auftritt. Für dieses Pfeilverhältniß ist im Hochbauwesen $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{7}$ in Anwendung gekommen.

Zweckmäßig wird aber die Wölblinie so genommen, daß die Pfeilhöhe derselben $\frac{1}{8}$ der Spannweite beträgt oder, was nahezu dasselbe ist, wenn die Wölblinie als Kreisbogen beschrieben wird, dessen Halbmesser nach Fig. 358 gleich der Spannweite des zu bildenden Kappengewölbes ist.

Die Rückenlinie der meistens nur $\frac{1}{2}$ bis 1 Backstein starken Kappengewölbe, die kurz auch nur »gerade Kappen« oder »Kappen« genannt werden, ist in der Regel ein mit der inneren Wölblinie concentrisch beschriebener Kreisbogen.

Von anderen gesetzmäßig gebildeten krummen Linien macht man für die Wölblinien der Kappengewölbe keinen Gebrauch. Auch die Spannweite derartiger Gewölbe, welche von vornherein in das Bauwesen eingeführt sind, um bei den für Hochbauten damit zu schaffenden Decken eine möglichst geringe Constructionshöhe zu erzielen, ist auf geringe Abmessungen bis höchstens auf etwa 5 m zu beschränken.

Hieraus ergibt sich, daß die Gestaltung des Kappengewölbes, welches, weil es vielfach in Preußen statt des Tonnengewölbes zur Deckenbildung für Kellerräume, Gänge, Geschäftszimmer u. dergl. in Anwendung gekommen ist und noch benutzt wird, auch »preussische Kappe« genannt wird, eine äußerst einfache ist.

175.
Ueberwölbung
größerer
Räume.

Soll ein größerer Raum mit Kappengewölben überdeckt werden, so sind bei der verhältnißmäßig eng begrenzten Spannweite derselben mehrere Gewölbjoche zu bilden (Fig. 359), welche sich gegen besonders herzurichtende, den Raum, bzw. die Decke trennende Trag-Constructionen *A, B* und schließlich in den beiden äußersten Jochen oder Feldern gegen die Umfangsmauern des Raumes legen.

Diese eingefügten, wiederum als Widerlager der einzelnen neben einander liegenden Kappengewölbe auftretenden Zwischen-Constructionen können sein:

- 1) volle Mauern;
- 2) kleinere und schmalere flachbogige oder tonnengewölbartige Bogenstellungen, sog. Gurtbogen, deren Axen rechtwinkelig zu den Axen der Kappengewölbe stehen;

Fig. 358.

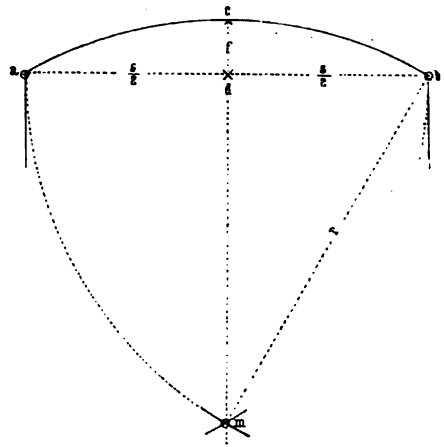
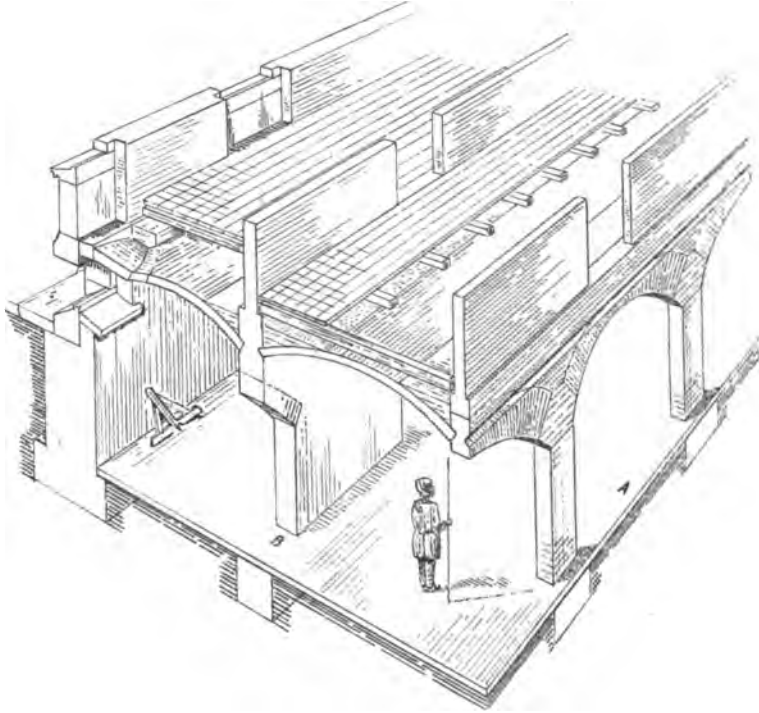


Fig. 359.



3) eiserne Träger, welche parallel mit den Gewölbaxen laufen und nur an den Enden aufrufen oder auch noch zwischen den Endauflagern durch Säulen oder andere Freistützen, unter Umständen auch durch Unterzüge unterstützt sind (siehe auch unter A, Kap. I, unter a u. b).

Diese Anordnungen gestatten für die Gesamtgestaltung der Kappengewölbe über größeren Räumen dennoch eine möglichst freie Benutzung derselben und namentlich bei der geringen Constructionshöhe solcher Gewölbzüge auch die Anlage entsprechend hoher Licht-, bezw. Thüröffnungen in den Umfangsmauern des zu überdeckenden Raumes, nicht allein in den rechtwinkelig zu den Gewölbaxen stehenden Schildmauern, sondern auch in den eigentlichen Widerlagsmauern. Hierdurch bietet in dieser Beziehung das Kappengewölbe dem Tonnengewölbe gegenüber große Vortheile. Werden dennoch auch bei Kappengewölben für die Licht- oder Thüröffnungen unter Umständen Stichkappen erforderlich, so gilt für diese das schon beim Tonnengewölbe in Art. 133 (S. 161) Mitgetheilte. Von einer eigentlichen Gliederung der Kappengewölbe durch Stichkappen hat man nicht zu sprechen.

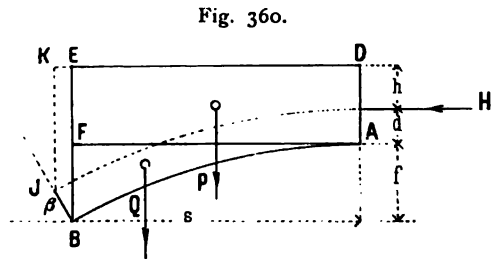
b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

Die Stabilitätsuntersuchungen der Kappengewölbe und ihrer Widerlager weichen in ihren Grundlagen von denjenigen der Tonnengewölbe nicht ab, gleichgiltig ob die Kappengewölbe, was allerdings selten der Fall ist, unbelastet bleiben oder ob dieselben eine mehr oder weniger große Belastung zu tragen haben, und es kann in dieser Beziehung auf das bereits im vorhergehenden Kapitel (unter b) Gefagte verwiesen werden. Da aber in der Praxis die Widerlagsmauern der Kappengewölbe nicht immer eine solche Stärke erhalten können, daß dieselben fähig sind, namentlich wenn ihnen eine

176.
Prüfung
der
Gewölbestärke.

bedeutendere Höhe nicht gegeben werden kann, dem Gewölbschube ohne Weiteres in erwünschtem Grade und mit Sicherheit den nöthigen Widerstand zu leisten, so nimmt man in solchen Fällen auf eine besondere Sicherung der Widerlager gegen die nachtheiligen Einwirkungen des Gewölbschubes Rücksicht. In der Regel wird diese Sicherung der Widerlager durch eiserne Anker (Zugstangen, Schlaudern, Schliesen) bewirkt. Dieselben werden in gewissen Entfernungen von einander in rechtwinkliger Richtung zur Axe der Kappengewölbe, und zwar am besten wagrecht durch die Kämpferpunkte, eingeführt. Sie sollen in möglichst erreichbarem Grade eine gegenseitige Verspannung der einander gegenüber liegenden Widerlagsmauern und hierdurch eine grössere Standfähigkeit derselben veranlassen.

Für die Bestimmung des Querschnittes der Ankerstangen ist der Horizontalschub der Kappengewölbe zunächst maßgebend. Derselbe könnte nach Gleichung 159 (S. 192) berechnet werden. Bei Kappengewölben, deren Dicke felten mehr als eine Backsteinslänge beträgt, kann man jedoch unter Bezugnahme auf Fig. 360 den Gewölbschub H , fymmetrische Gestaltung und Belastung mit wagrechter Abgrenzung, so wie eine Einwölbung auf Kuf für das Gewölbe vorausgesetzt, nach einem vereinfachten Ausdrucke ermitteln. Hierbei wird das über der meistens unter einem grossen Winkel β zur Wagrechten geneigten Kämpferfuge ruhende Stück $BEJK$ der gefamnten Belastungsfläche $ADKJB$ als verhältnissmässig sehr klein vernachlässigt. Der hierdurch begangene Fehler ist an sich geringfügig; er veranlaßt, wie aus Gleichung 159 zu ersehen ist, einen etwas vergrößerten Werth des Gewölbschubes H , was im vorliegenden Falle bei der Stabilitätsbestimmung des Gewölbes und seiner Widerlager nur als günstig zu bezeichnen ist.



Den in Art. 138 (S. 190) für das Tonnengewölbe gegebenen Entwicklungen ganz entsprechend, erhält man alsdann für den Gewölbschub bei Kappengewölben, bei einer Tiefe gleich der Längeneinheit, den einfacheren Ausdruck

$$H = \frac{s^2}{12(d+f)} [6(d+h)+f] \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met. . 179.}$$

Eben so ergibt sich bei der eingeführten Vereinfachung für die Belastungsfläche $ADEFB$ der Werth

$$G = s \left(d + h + \frac{f}{3} \right) \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met. . 180.}$$

In diesen beiden Gleichungen bedeuten s die halbe Spannweite, f die Pfeilhöhe, d die Scheiteltärke und h die Höhe der Belastung über der Rückenlinie im Scheitellothe des Gewölbes (in Met.).

Die Berechnung der Widerlagsstärke würde nach der in Art. 145 (S. 208) gegebenen Gleichung erfolgen können. Da aber bei Kappengewölben die Bestimmung der Widerlagsstärke möglichst schnell schon beim Entwurfe des Gewölbeplanes vorzunehmen ist, so soll hier die dafür maßgebende Ermittlung in einem anderen Gewande gegeben werden.

In Fig. 361 bezeichne A den Höhendchnitt des Widerlagskörpers, dessen Länge 1 m beträgt. Der Einfachheit halber und mit der praktischen Ausführung auch

mauer bezeichnet, zu beachten, daß H und G mit γ und W mit γ_1 multiplicirt werden müssen. Hiernach wird nach Gleichung

$$u = \frac{2aH\gamma - bG\gamma_1}{2(G\gamma + bk\gamma_1)} = \frac{2aH - bG}{2\left(G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}\right)} \quad \dots \quad 182.$$

Ist in einem besonderen Falle die Stärke b des Widerlagskörpers gegeben, so läßt sich nach Gleichung 182 der Abstand $u = mf$ berechnen. Ist alsdann $u > \frac{b}{2}$ gefunden, so ist kein Gleichgewicht gegen Drehen um die Kante o der Grundfläche des Widerlagers vorhanden; die Abmessung b ist zu gering.

Ist $u = \frac{b}{2}$ berechnet, so ist eben der Grenzwert für den Gleichgewichtszustand gegen Drehen um die Kante o gekennzeichnet; ist endlich $u < \frac{b}{2}$, so tritt schon ein Sicherheitsgrad für die Stabilität der Widerlagsmauer ein. So lange $u = \frac{b}{2}$ oder, wie sich bald ergeben wird, größer als $\frac{b}{2}$ bleibt, ist auf eine Verankerung der Widerlagsmauern Bedacht zu nehmen.

Je weniger sich das berechnete Maß u von dem Maß $\frac{b}{2}$ unterscheidet, desto geringer sind die Entfernungen der Ankerzüge von einander für das Gewölbe zu wählen, wenn dieselben einen entsprechenden Nutzen für das Verspannen der Widerlagsmauern gewähren sollen.

Der Winkel α endlich muß, um die Gefahr gegen das Gleiten auf der Grundfläche des Widerlagers zu berücksichtigen, mindestens gleich oder, der Sicherheit gegen Gleitens halber, kleiner sein, als der Reibungswinkel ρ des für das Widerlager benutzten Mauermaterials.

Aus der Zeichnung ergibt sich

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{G + W} = \frac{u}{y}$$

oder, unter Berücksichtigung der besonderen, vorhin angeführten Einheitsgewichte und da $W = bk$, auch

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad \dots \quad 183.$$

Soll $\angle \alpha < \angle \rho$, d. h. $\angle \rho > \angle \alpha$ sein, so ist auch $\operatorname{tg} \rho > \operatorname{tg} \alpha$, d. h.

$$\operatorname{tg} \rho > \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}},$$

mithin $\operatorname{tg} \rho \cdot G + \operatorname{tg} \rho \cdot \frac{k\gamma_1}{\gamma} b > H$; folglich muß auch

$$b > \frac{H - \operatorname{tg} \rho \cdot G}{\operatorname{tg} \rho \cdot k\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad \dots \quad 184.$$

fein. Fände diese Beziehung bei einem gegebenen Werthe von b nicht statt, so

würde die Gefahr des Gleitens des Widerlagskörpers eintreten, selbst wenn das berechnete Maß von u kleiner als $\frac{b}{2}$ gefunden wäre.

Will man für eine andere wagrechte Schnittfuge unterhalb der Kämpferlinie des Gewölbes in der Widerlagsmauer die Stabilität gegen Drehen und gegen Gleiten prüfen, so hat man nur die wagrechte Ebene entsprechend höher zu verlegen und dieser Lagenveränderung gemäß die in den Gleichungen 182 u. 184 vorkommenden Werthe a und k danach zu verkleinern. Rückt z. B. die Ebene EE um η Met. höher, so ginge a in $a_1 = a - \eta$ und k in $k_1 = k - \eta$ über.

Derartige Untersuchungen sind bei Widerlagsmauern nicht zu unterlassen, sobald Durchbrechungen derselben, wie bei Thür- und Lichtöffnungen vorkommen.

Noch möge bemerkt werden, daß unter Einführung verschiedener Werthe für η die zugehörigen berechneten Größen von u auch Punkte in den wagrechten Lagerfugen der Widerlagsmauer liefern, welche der Mittellinie des Druckes in diesem Stützkörper zukommen.

Die Gleichung 182 ist aber weiter zu benutzen, wenn für eine Anlage von Kappengewölben eine Breite b der im Höhenchnitt rechteckigen Widerlagsmauer gefunden werden soll, welche einen bestimmten Grad von Stabilität gegen Drehen besitzt. Setzt man in derselben allgemein $u = nb$, unter n irgend einen echten Bruch verstanden, so erhält man den Ausdruck

$$2nk \frac{\gamma_1}{\gamma} b^2 + (2n + 1) Gb = 2aH.$$

Die Auflösung dieser Gleichung für b liefert

$$b = \frac{1}{4nk \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left[-(2n + 1) G \mp \sqrt{16nk \frac{\gamma_1}{\gamma} aH + (2n + 1)^2 G^2} \right]. \quad 185.$$

In derselben ist das positive Vorzeichen der Wurzelgröße zu verwenden.

Für $n = \frac{1}{2}$, also für $u = \frac{b}{2}$ wird

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(-G + \sqrt{2k \frac{\gamma_1}{\gamma} aH + G^2} \right).$$

Bei dieser Breite b geht die Mittelkraft R durch den Punkt o der Grundfläche der Widerlagsmauer. Das System befindet sich im Grenzzustande des Gleichgewichtes gegen Drehen.

Für $n = \frac{1}{6}$ wird $u = \frac{b}{6}$ und

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(-2G + \sqrt{6k \frac{\gamma_1}{\gamma} aH + 4G^2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad 186.$$

Bei dieser Abmessung von b trifft die Mittelkraft die Axe op des rechteckigen Querschnittes der Fußfläche des Widerlagers den Grenzpunkt r des inneren Drittels, d. h. den Grenzpunkt des sog. Kernes des Querschnittes, so daß nun bekanntlich die vorhandene Breite den statischen Anforderungen entspricht, vorausgesetzt, daß Gleichung 184 für das Gleichgewicht gegen Gleiten keine größere Breite vorschreibt.

Ergiebt sich die Breite b für $n = \frac{1}{6}$ auch hiernach als ausreichend, so ist bei

sonst guter Ausführung, bei widerstandsfähigem Material und bei günstigem Verlauf der Mittellinie des Druckes in der Gewölbfäche und im Höhenschnitte des Widerlagers, das Anbringen von Zugankern überflüssig.

178.
Berechnung
der
Verankerungen.

Die Verankerung soll aber angebracht werden, wenn der Schnittpunkt von R mit der Axe op zwischen o und r fällt. Schneidet die Mittelkraft R die verlängerte Axe op außerhalb der Mauerkante, so soll eine Verstärkung der Widerlagsmauer an sich vorgenommen werden, bis jener Angriffspunkt von R mindestens nahe bei o in die Grundfläche tritt, da für den sicheren Bestand der Mauer einer Verankerung derselben allein eine zu große Wirkung nicht zugemuthet werden kann, wenn dabei nicht noch besondere Vorkehrungen getroffen werden.

Die Zuganker können nur in gewissen Entfernungen, nicht dicht neben einander liegend, angebracht werden. Das Gesetz für die Vertheilung des Gewölbschubes an dem zwischen den Angriffstellen der Verankerung liegenden Mauerkörper ist nicht vollständig bekannt, so daß eine scharfe Bestimmung der Beanspruchung, welche jener Mauerkörper durch den Gewölbschub und durch die in bestimmten Abständen eingeführte Verankerung erleidet, augenblicklich noch nicht möglich ist. Würde der Gewölbschub aber z. B. durch widerstandsfähige eiserne Träger für gegebene Gewölblängen auf bestimmte, einander gegenüber liegende feste Stützpunkte der beiden Widerlagsmauern übertragen und alsdann eine Verankerung dieser Stützpunkte vorgenommen, so würde durch eine derartige Vorkehrung eine gänzliche oder theilweise Entlastung des zwischen den Stützpunkten liegenden Mauerkörpers vom Gewölbschube herbeigeführt. Dieser Theil des Widerlagers würde dann mehr oder weniger nur als einfache Begrenzungsmauer auftreten. Bei sehr schwachen Widerlagsmauern der Kappengewölbe ist das Anbringen eiserner Träger rathsam. In der Praxis sind dieselben mehrfach in Anwendung gekommen. Bei solchen Anlagen ist auch die Berechnung der Träger und der zugehörigen Ankerverbindung ohne erhebliche Schwierigkeiten durchzuführen.

Werden diese Vorkehrungen nicht getroffen, so ist für die Berechnung der Zuganker immer nur ein Näherungsverfahren einzuschlagen, welches in seinen Ergebnissen für die praktische Ausführung zweckmäßige Werthe liefert.

Der Querschnitt der Zug- oder Ankerstangen ist in den weitaus meisten Fällen eine Kreisfläche. Nur wenn besondere Verhältnisse eine Verbindung solcher Anker mit anderen Bautheilen erfordern oder wenn bestimmte größere Längen dieser Anker durch volles Mauerwerk geführt werden müssen, erhalten dieselben für diese Längen wohl einen flachen rechteckigen Querschnitt, welcher an den Enden wieder in den kreisförmigen übergeht.

Da die Hauptaufgabe dieser Anker darin besteht, die nachtheiligen Wirkungen des Gewölbschubes auf die Widerlager möglichst zu vermindern und zu diesem Zwecke eine möglichst kräftige gegenseitige Verspannung derselben hervorzurufen, so ist auf eine entsprechend starke Verbindung der Zuganker mit dem Mauerwerkskörper selbst Bedacht zu nehmen. Diese Verbindung erfolgt durch sog. Ankersplinte oder weit besser durch Ankerplatten. Die Ankersplinte bestehen aus Flacheisen, welche durch Oefen greifen, die an den Enden der Zugstangen ausgeschmiedet sind. Die Ankerplatten sind gußeiserne Platten mit quadratischer oder kreisförmiger Grundfläche. Der Querschnitt derselben ist rechteckig oder besser trapezförmig, ab

Eine weitere wesentliche Forderung für das Herbeiführen einer tüchtigen Verankerung der Widerlager geht dahin, daß sowohl die Ankerplatte wie auch die Ankerplatten eine thunlichst große Mauerfläche, bzw. möglichst viele Steinschichten der Widerlagsmauer fassen, um hierdurch die Uebermittlung des Gewölbschubes auf eine größere Fläche und die Verspannung eines größeren Mauerkörpers zu bewirken. Dieser Forderung wird, wie an sich klar, weit besser durch Ankerplatten, als durch die hochkantig aufliegenden Ankerplatte genügt, da ersteren selbst bei nicht sehr großen Seitenabmessungen eine weit größere Lagerfläche gegeben werden kann, als den letzteren, welchen etwa nur 40 bis 60 cm Länge zugewiesen werden.

Werden die Zuganker an den Enden mit Schraubengewinden versehen, so sind unter Berücksichtigung des Umstandes, daß beim kräftigen Anziehen der Schraubmutter leicht eine Beanspruchung der Enden der Ankerstange auf Torsion entstehen kann, für die Berechnung der Zugstangen die an der eben bezeichneten Stelle dieses »Handbuches« entwickelten Gleichungen 116 u. 117 (S. 152¹⁶⁹) zu benutzen. Bezeichnet d' den inneren, d den äußeren Gewindedurchmesser und d'' den äußeren Durchmesser der Zugstange, so ist

$d = (1_{,139} d' + 0_{,108}) \text{ Centim., } 188.$

$$d' = 0,2 + 0,046 \sqrt{P} 189.$$

In Gleichung 189 bezeichnet P die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerstange aufzunehmen hat.

Befitzen die Enden der runden Zuganker Oefen, welche die Ankersplinte aufzunehmen haben, so sind die Oefen in ihren Abmessungen, wie in Art. 231 (S. 159¹⁷⁰) des gedachten Bandes dieses »Handbuches« angegeben ist, zu berechnen.

170) 2. Aufl.: Art. 234 (S. 171).

Unter Verwerthung der hierfür entwickelten Gleichungen 135¹⁷¹⁾ ist

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P\pi}{s''} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.; } \dots \dots \dots 190.$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{P}{\pi s''} \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.; } \dots \dots \dots 191.$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{\pi t} \cdot \frac{s''}{t} \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.; } \dots \dots \dots 192.$$

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P\pi}{t} \cdot \frac{s''}{t} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s''}{s'}}} \text{ Centim. } \dots \dots \dots 193.$$

Hierin bezeichnet P wiederum die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerstange aufzunehmen hat; s' die zulässige Zugspannung in derselben, welche zu 800 kg für 1 qcm zu nehmen ist; s'' der fog. Lochlaibungsdruck hinter dem Keile, bzw. dem Ankerplinte gleich 1200 kg für 1 qcm, und t die zulässige Scherspannung in der Oese, bzw. im Keile oder im Ankerplinte, etwa gleich 640 kg für 1 qcm, während δ , d , b , h die aus Fig. 362 zu entnehmenden Bedeutungen für die Oese, bzw. für den Keil oder den Ankerplint haben.

Die Länge des Keiles ist gleich $2d$ (Gleichung 191) zu nehmen.

Die Oese wird durch Anstauchen der Enden der Ankerstange gebildet und diese demnach verstärkt. Diese durch d (Gleichung 191) bestimmte Verstärkung ist gröfser, als der Durchmesser d_0 der eigentlichen Stange. Letzterer ist zu berechnen aus der Beziehung

$$\frac{\pi}{4} d_0^2 s' = P,$$

so dafs

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{s'}} = \infty 1,13 \sqrt{\frac{P}{s'}} \dots \dots \dots 194.$$

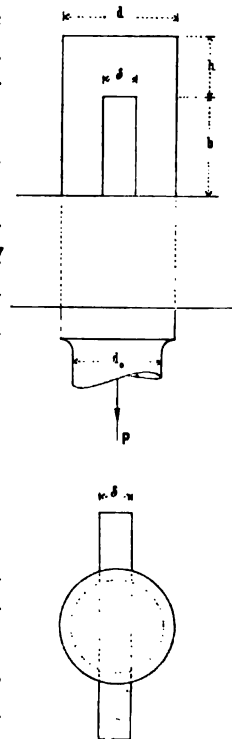
wird. Ankerstangen aus Flacheisen von einer Dicke δ' sind nach Gleichung 137 (S. 160¹⁷²⁾ im angeführten Bande dieses »Handbuches« zu berechnen.

Die Abmessungen der Oese, bzw. des Keiles oder des Ankerplintes, sind mit Berücksichtigung der Bezeichnungen in Fig. 363

$$\delta = \frac{P}{s'' \delta'}; \quad b' = \frac{P}{\delta'} \cdot \frac{s' + s''}{s' s''} \text{ Centim.; } \dots \dots \dots 195.$$

$$b = \frac{\delta'}{2} \frac{s''}{t}; \quad h = \frac{P}{t \delta'} \text{ Centim.; } \dots \dots \dots 196.$$

Fig. 362.



171) 2. Aufl.: Gleichungen 161.

172) 2. Aufl.: Gleichung 163 (S. 172).

Fig. 363.

während

$$x = \frac{P}{\delta' s'} \text{ Centim.} \quad 197.$$

zu nehmen ist.

Fallen die berechneten Abmessungen für b , d. i. für die lichte Höhe der Oeffnung der Oefse oder für die Höhe des Keiles, wie häufig sich zeigt, unter ein praktisch zulässiges Maß, so hat man den Unterschied zwischen dem theoretischen Maße und dem wirklich für b zu wählenden praktischen Maße dem Werthe h hinzuzufügen, während alle übrigen berechneten Abmessungen unverändert beibehalten werden.

Für die Ankerplatten mit rechteckigem Querschnitte und quadratischer oder kreisrunder Grundfläche können die für Grundplatten im bezeichneten Bande dieses »Handbuches« (Art. 276, S. 182¹⁷³) angeführten Gleichungen 142¹⁷⁴) der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

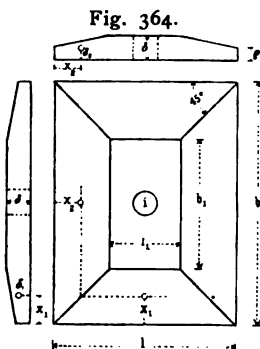
Hiernach wird, wenn F die Grundfläche dieser Platten (in Quadr.-Centim.) und P wie früher der Ankerzug (in Kilogr.) ist

für gewöhnliches Backsteinmauerwerk	$F = \frac{P}{7}$	Quadr.-Centim.	} 198.
„ Klinkermauerwerk in Cement-Mörtel	$F = \frac{P}{12}$	„ „	
„ Mauerwerk aus weniger festen Quadern	$F = \frac{P}{20}$	„ „	
„ Mauerwerk aus sehr festen Quadern	$F = \frac{P}{45}$	„ „	

Die Dicke δ in Centim. der Ankerplatten ist

$$\left. \begin{aligned} \delta &= 0,055 \sqrt{P} \text{ für quadratische Platten} \\ \delta &= 0,05 \sqrt{P} \text{ für kreisrunde Platten} \end{aligned} \right\} \quad 199.$$

Für trapezförmige Ankerplatten wird unter Bezugnahme auf Fig. 364 die im angeführten Bande (2. Aufl.) dieses »Handbuches« auf S. 223 gegebene Gleichung 194 füglich benutzt werden können. Hiernach wird



$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= 0,1 x_1 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3l - 2x_1}{l - 2x_1}} \text{ Centim.} \\ \delta_2 &= 0,1 x_2 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3b - 2x_2}{b - 2x_2}} \text{ Centim.} \end{aligned} \right\} \quad 200.$$

Die erforderliche Grundfläche F ist nach Abzug der Fläche i für die Oeffnung in der Mitte, durch welche der Zuganker geführt wird, bei einem rechteckigen Auflager, wobei l oder b gewählt werden kann,

$$lb - i = F = \frac{P}{\sigma_1}, \text{ d. h. } lb = \frac{P}{\sigma_1} + i$$

und bei quadratischem Auflager in der Seitenlänge

$$b = \sqrt{\frac{P}{\sigma_1} + i} \quad 201.$$

¹⁷³) 2. Aufl.: Art. 282, S. 197.

¹⁷⁴) 2. Aufl.: Gleichungen 174.

Die Randstärke ρ beträgt passend 2 cm. Die Gröfse σ_1 bezeichnet die zulässige Pressung auf das Mauerwerk, gegen welches sich die Platte legt (in Kilogr. für 1 qcm); der Werth hierfür geht aus Gleichung 198 hervor.

In den für die Verankerung auszuführenden Berechnungen spielt die GröÙe P der Zugkraft eine Rolle. Dieselbe hängt vom Gewölbschube und von der Vertheilung desselben auf das Gewölbwiderlager ab. Sieht man von peinlich angestellten Untersuchungen ab, deren Ergebnisse doch nur auf mehr oder weniger berechtigten Voraussetzungen beruhen, so kann man unter der Annahme eines für jede Längeneinheit der Widerlagsmauern gleichförmig und stetig vertheilten Gewölbschubes die GröÙe von P leicht fest setzen, welche für die Zuganker entsteht und für die Stabilität der Widerlagsmauern verwerthet werden soll.

$P = L H \gamma$ Kilogr. 202.

$$m = \frac{4 L H \gamma}{\pi d_0^2 s'} 203.$$

Meistens ist aber die Zahl m vorweg durch die Plangestaltung der Gewölbanlage bestimmt. Liegen dieselben in gleichen Abständen von einander, so entstehen bei m Zugstangen $m + 1$ Abtheilungen der Länge L , und demnach kommt für jede Zugstange eine Kraft $\frac{L H \gamma}{m + 1}$ in Rechnung. Hiernach wird entsprechend Gleichung 203

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{LH\gamma}{(m+1)s'}} = \approx 1.13 \sqrt{\frac{LH\gamma}{(m+1)s'}} \text{ Centim.} \quad \dots \quad 204.$$

$$d_0 = \infty 1_{,13} \sqrt{\frac{l H \gamma}{s'}} \text{ Centim. } 205.$$

Digitized by Google

zu nehmen. Hierbei ist zu bemerken, daß derartige ungleich weite Abstände für die Zuganker dem ganzen System weniger zuträglich sind und daher thunlichst vermieden werden müssen. Sehr große Abweichungen zwischen den einzelnen Weiten dürfen überhaupt nicht zugelassen werden. Bei geringfügigen Unterschieden in diesen Abständen ist dann für alle Ankerstangen der nach Gleichung 205 für 1 Met. berechnete Durchmesser d_0 beizubehalten. Von Wichtigkeit ist bei der Verankerung der Kappengewölbe auch das Anbringen von Zugankern an jeder Stirnmauer, um hierdurch dem erfahrungsmäßig leicht eintretenden Ausweichen, bezw. Abreißen der Widerlagsmauern an den Ecken des Raumes möglichst vorzubeugen. Die Entfernungen der Zuganker von einander sollen höchstens 4 m, unter Umständen weit weniger betragen weil bei zu großen Abständen der Verankerungen die nicht ausreichend starken Widerlagsmauern zwischen den Ankerzügen sich leicht ausbauchen und Mauerriße erhalten.

Beispiel. Ein aus Backstein vom Einheitsgewichte 1,8 ausgeführtes Kappengewölbe mit einem Kreisbogen als Leitlinie ist 14,5 m lang; die Spannweite 2s desselben beträgt 3 m, also $s = 1,5$ m, und die Pfeilhöhe $f = 0,4$ m, also etwas über $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Das Gewölbe stützt sich gegen Widerlagsmauern, welche ordnungsmäßig aus festem Kalkstein vom Einheitsgewichte 2,8 ausgeführt sind; die Stärke b derselben beträgt 0,60 m und die Höhe $k = 8,2$ m; die Kämpferhöhe a des Gewölbes beträgt 3 m. Das Gewölbe ist 1 Stein = 0,25 m stark, in den Zwickeln mit Backstein ausgemauert und mit einem Bretterfußboden überlagert. Die Nutzlast des Gewölbes ist zu 400 kg für 1 qm Grundfläche bestimmt. Dieser nicht ganz geringfügigen Nutzlast entsprechend, wird die als wagrecht abgegliche Belastungsfläche, auf Backstein-Material zurückgeführt, zu einer Höhe $h = \frac{400}{1600} = 0,25$ m im Scheitellothe des Gewölbes gefunden. Vom Zurückführen des Gewichtes des mit Sand unterlagerten Bretterfußbodens ist hier abgesehen.

180.
Beispiel.

1) Prüfung der Gewölbstärke. Man erhält nach Gleichung 179

$$H = \frac{1,8^2}{12(0,25 + 0,4)} [6(0,25 + 0,25) + 0,4] = 0,97 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 202 überschreitet dieser Werth die für H berechnete Gröfse bei 1 Stein starken Gewölben um 0,1 qm, bleibt aber von H für $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke um 1,06 qm entfernt. Wird nun das Gewölbe auch etwas stärker gepreßt, als Gleichung 145 angiebt, so kann diese etwas gröfsere Preßung bei kleineren Gewölben doch zugelassen und die Gewölbstärke d zu 1 Stein als genügend angesehen werden.

Nach Gleichung 180 wird

$$G = 1,5 \left(0,25 + 0,25 + \frac{0,4}{3} \right) = 0,95 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Bei den gegebenen Abmessungen wird, um den Normaldruck N in der Kämpferfuge bestimmen zu können, zuvor $\sin \alpha = \frac{s}{r}$ und, da $\frac{f}{s} = \frac{s}{2r - f}$, also $r = \frac{f^2 + s^2}{2f}$ ist,

$$\sin \alpha = \frac{2fs}{f^2 + s^2} = \frac{1,20}{2,41} = 0,4979 = \approx 0,5,$$

mithin nahezu und hier genau genug $\alpha = 30$ Grad. Hiernach ist zufolge Gleichung 152

$$N = 0,97 \cos 30^\circ + 0,95 \sin 30^\circ = 0,97 \cdot 0,866 + 0,95 \cdot 0,5 = 1,325 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Dieser Werth bleibt nach der Tabelle auf S. 202 weit unter der für den Normaldruck N bei einem 1 Stein starken Gewölbe berechneten Gröfse. Mithin ist auch in dieser Beziehung die ausgeführte Gewölbstärke hinreichend.

2) Prüfung der Widerlagsstärke. Das Gewicht des Wölbmaterials sammt Belastung ist $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm, während das Eigengewicht des Mauerwerkes vom Widerlager $\gamma_1 = 2600$ kg für 1 cbm beträgt. Unter Benutzung von Gleichung 182 wird

$$u = \frac{2 \cdot 3 \cdot 0,97 + 0,6 \cdot 0,95}{2 \left(0,95 + 0,6 \cdot 8,2 \cdot \frac{2600}{1600} \right)} = \frac{5,25}{17,89} = 0,293 \text{ m,}$$

also ganz wenig kleiner als $\frac{b}{2} = \frac{0,60}{2} = 0,30$ m.

Dieses Ergebnis bedingt eine kräftige Verankerung der Widerlagsmauern.

Für den Gleichgewichtszustand gegen Gleiten muß bei der Annahme des Reibungswinkels ρ für Kalkfeinmauerwerk als $\operatorname{tg} \rho = 0,7$ nach Gleichung 184

$$0,60 > \frac{0,97 - 0,7 \cdot 0,95}{0,7 \cdot 8,2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. h. $0,60 > 0,326$ fein.

Solches ist hier der Fall, mithin ist Sicherheit gegen Gleiten der Widerlagsmauer auf ihrer Grundfläche bekundet.

Für eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Fuge der Widerlagsmauer geht die Größe k der Gleichung 184 in $k_1 = k - \gamma = 8,2 - 3 = 5,2$ m über, und nun muß

$$0,60 > \frac{0,97 - 0,7 \cdot 0,95}{0,7 \cdot 5,2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. i. $0,60 > 0,515$ fein. Auch für diese Fuge ist demnach keine Gefahr in Bezug auf Gleiten vorhanden.

3) Berechnung der Verankerung. Wird die Zahl m der in gleichen Entfernungen von einander zwischen den Stirnmauern angebrachten Zugankern zu 4 genommen, so ist die Entfernung derselben

$l = \frac{14,2}{4+1} = 2,9$ m und somit die Zugkraft P für dieselbe gleich dem resultierenden Gewölbschub für diese Länge l , d. h. $P = 2,9 \cdot 0,97 \cdot 1600 = 4500,8$ kg, wofür 4500 kg gesetzt werden sollen.

Für diese Beanspruchung würde nach Gleichung 194, worin s' unter Berücksichtigung der Torsion, welche die Ankerstange erleiden kann, gleich 600 kg für 1 qcm gesetzt werden soll, der Durchmesser der Stange

$$d_0 = \approx 1,18 \sqrt{\frac{4500}{600}} = 3,99 \text{ cm.}$$

Die Zuganker erhalten aber an ihren Enden Schraubengewinde, deren äußerer Ring von etwa 1 mm Tiefe nicht als tragfähig gelten kann. Aus diesem Grunde ist zunächst nach Gleichung 189, worin auch $s' = 600$ kg berücksichtigt ist, der innere Durchmesser zu bestimmen als

$$d' = 0,2 + 0,046 \sqrt{4500} = 0,2 + 3,086 = 3,286 \text{ cm,}$$

wofür 3,3 cm genommen werden sollen.

Alsdann wird nach Gleichung 188 der äußere Gewindedurchmesser $d = (1,139 \cdot 3,3 + 0,109) = 3,96$ cm und endlich nach Gleichung 187 der Durchmesser der Zugstange selbst

$$d'' = 1,178 \cdot 3,3 + 0,128 = 3,99 \text{ cm,}$$

wofür selbstredend 4 cm zu nehmen sind. Dieser Durchmesser ist den Zwischenankern statt des Maßes $d_0 = \approx 3$ cm zu geben.

Die Ankerstangen an jeder Stirnmauer können, da der für ihre Spannung maßgebende resultierende Gewölbschub zu $\frac{l}{2} H \gamma = \frac{2,9}{2} \cdot 0,97 \cdot 1600 = 2250$ kg angenommen werden darf, einen geringeren Durchmesser als die Zwischenanker erhalten. Für den inneren Gewindedurchmesser würde nach Gleichung 189

$$d' = 0,2 + 0,046 \sqrt{2250} = 2,38 \text{ cm}$$

und hiernach der Durchmesser der Stange nach Gleichung 187

$$d'' = 1,178 \cdot 2,38 + 0,128 = 2,91 \text{ cm,}$$

wofür $d'' = 3$ cm zu nehmen ist.

Vielfach giebt man aber in der Praxis diesen Stirnankern denselben Durchmesser, wie den Zwischenankern.

Giebt man den runden Zugankern an ihren Enden Oefen, welche Keile, bezw. Splinte aufnehmen, die dann zweckmäßig auf Ankerplatten lagern, so sind zur Berechnung derselben die Gleichungen 190 bis 193 und die Gleichung 197 anzuwenden. Man erhält alsdann nach Gleichung 194 den Stangendurchmesser, da s' beim Nichteintreten einer Torsion bei derartigen Ankern gleich 800 kg für 1 qcm gesetzt werden kann,

$$d_0 = 1,18 \sqrt{\frac{5400}{800}} = 2,94 \approx 3 \text{ cm}$$

und nun der Reihe nach entsprechend den Gleichungen 190 bis 193

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4500 \cdot 3,1416}{1200} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1200}{800}}} = \approx 1,1 \text{ cm}, \\ d &= 2 \sqrt{\frac{4500}{3,1416 \cdot 1200} \left(1 + \frac{1200}{800}\right)} = \approx 3,8 \text{ cm}, \\ b &= \sqrt{\frac{4500}{3,1416 \cdot 640} \cdot \frac{1200}{640} \left(1 + \frac{1200}{800}\right)} = \approx 3,8 \text{ cm}, \\ h &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4500 \cdot 3,1416}{640} \cdot \frac{1200}{640} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1200}{800}}} = \approx 2 \text{ cm}.\end{aligned}$$

Ein Vergleich der Ergebnisse der Rechnung fällt hinsichtlich der Zugfängen zu Gunsten der zuletzt betrachteten Anordnungen von Oefen mit Keilen aus, da die Anwendung von Ankerfängen mit Schraubengewinden an den Enden einen grösseren Aufwand an Material für die Verankerung bedingt.

4) Berechnung der Ankerplatten. Sollen quadratische gusseiserne Ankerplatten mit einfachem rechteckigen Querschnitte Verwendung finden, so ist bei der Beanspruchung $P = 4500 \text{ kg}$ die Dicke derselben nach Gleichung

$$\delta = 0,085 \sqrt{4500} = 3,69 \text{ cm},$$

wofür rund $3,7 \text{ cm}$ genommen werden.

Bei runden Zugankern mit Schraubengewinden an den Enden ist die Oeffnung in der Ankerplatte um etwa 2 mm grösser als der Durchmesser der Zugfänge zu nehmen, so dass dieselbe nach der angestellten Rechnung $4,2 \text{ cm}$ betragen würde. Die Grundfläche dieser Oeffnung ist demnach $i = \frac{\pi}{4} 4,2^2 = \approx 13,85 \text{ qcm}$.

Hiernach wird unter Benutzung von Gleichung 201

$$b = \sqrt{\frac{4500}{\sigma'} + 13,85} \text{ Centim.}$$

Nimmt man für Mauerwerk aus festem Kalkstein in Kalkmörtel die zulässige Beanspruchung σ' für 1 qcm zu 10 kg an, so ist $b = \sqrt{450 + 13,85} = \sqrt{463,85} = 21,54 \text{ cm}$ oder abgerundet $= 22 \text{ cm}$.

Da aber die Ankerplatten eine möglichst grosse Fläche der Widerlagsmauer überlagern sollen, so ist es rathsam, die Seitenlänge b dieser Platten zu 30 cm anzunehmen. Alsdann ist die Grundfläche derselben, welche die von den Zugankern herbeigeführte Preßung auszuhalten hat, gleich $F = (30^2 - 13,85) = 886,15 \text{ qcm}$ und folglich $\sigma' = \frac{4500}{886,15} = \approx 5 \text{ kg}$ für 1 qcm , eine Beanspruchung, welche selbst bei weniger festem Kalksteinmauerwerk zulässig ist.

Werden die vorhin berechneten Zugfängen mit Oefen und Keilen zur Ausführung gebracht, so würden zweckmässig dieselben Ankerplatten für die Unterlagerung der Keile, bezw. für die Verankerung benutzt.

Würden statt der Ankerplatten Ankersplinte für die Verankerung genommen, welche zur Erzielung einer möglichst grossen Auflagerfläche oberhalb der Oefe oder oberhalb und unterhalb derselben entsprechend gestiftet angeordnet werden könnten, so müsste, wenn aus practischen Gründen, die Breite der Auflagerfläche derselben statt der für den Keil berechneten Breite $\delta = 1,1 \text{ cm}$ zu 2 cm gewählt würde, bei der Beanspruchung $\sigma' = 10 \text{ kg}$ für 1 qcm Mauerfläche die gesammte Länge l der Aeste eines Ankersplintes gleich $\frac{4500}{10 \cdot 2} = 225 \text{ cm}$ sein, d. h. bei 4 auch in geschwungenen Linien geführten Aesten würde jeder derselben oberhalb und unterhalb derselben rund 57 cm in der Erstreckung messen. Bei Verminderung dieser erstreckten Länge würde selbstverständlich die Beanspruchung σ' des Mauerwerkes wachsen.

Nach den gemachten Angaben hätte also die Durchbildung der Ankersplinte zu erfolgen.

Zuweilen werden zur Verstärkung der Widerlager für Kappengewölbe und auch wohl für ihr Ursprungsgewölbe, das Tonnengewölbe, Strebepfeiler in gewissen Entfernungen von der Widerlagsmauer in Vorschlag gebracht. Sind, wie bei den Kreuzgewölben sich zeigen wird, Strebepfeiler, bezw. Strebebogen bei solchen Anlagen vortheilhaft am Platze, so ist dieses bei Kappengewölben oder Tonnengewölben weit weniger der Fall. Bei diesen Gewölben ist, wie bereits bei der Verankerung der-

181.
Strebepfeiler.

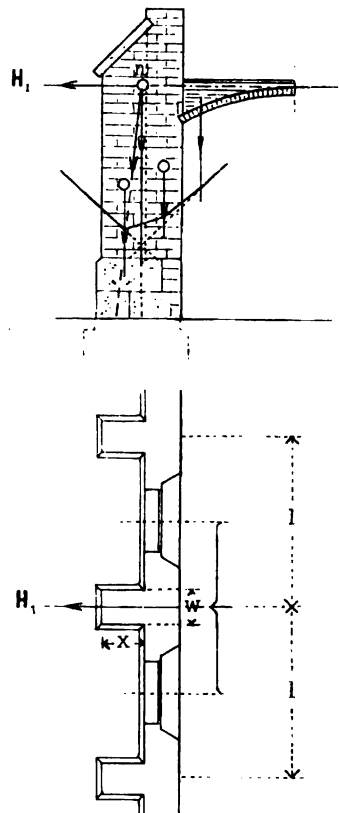
selben gefagt ist, keine Vereinigung des Gewölbschubes an einzelnen abgegrenzten Theilen der Widerlager vorhanden. Die Voraussetzungen, welche hinsichtlich der Vertheilung des Gewölbschubes auf eine Widerlagsmauer mit Strebepfeilern zu Grunde gelegt werden, lassen noch Zweifel zu. Obgleich dieser Vorwurf auch die Verankerung treffen muß, so ist doch durch solche Anlagen erfahrungsmäßig eine entsprechende Erhöhung der Standfestigkeit der mit nicht ganz zureichender Stärke behafteten Widerlagsmauern in verhältnismäßig einfacher Weise herbeizuführen. Die in der Höhe der Kämpferebene eingezogene Verankerung vermag eine bessere Verspannung der Widerlagsmauern und eine größere Gegenwirkung für den Gewölbschub auszuüben, als die vorgelegten Strebepfeiler, welche etwa eine erhöhte Standfähigkeit der an sich nicht ganz genügend starken Widerlagsmauern der Kappengewölbe vermitteln sollen.

Müssen aus besonderen Gründen statt der Zuganker Strebepfeiler angeordnet werden, so ist, unter Beachtung des in Art. 178 (S. 268) für die Unterfuchung der zwischen den Zugankern liegenden Mauertheile der Widerlager Gefagten, für die Strebepfeiler selbst eine Entfernung von über 4 m von Mitte zu Mitte thunlichst zu vermeiden. Die parallel zur Widerlagsmauer auftretende Breite der Strebepfeiler sollte nicht unter 38, bzw. 40 cm betragen. Ihre rechtwinkelig zum Widerlager antretende Dicke ist durch statische Unterfuchung zu bestimmen. Das bei dieser Unterfuchung zu benutzende Verfahren entspricht im Wesen ganz dem in Art. 143 (S. 197) über die Ermittlung der Stabilität eines Tonnengewölbes und seines Widerlagers Mitgetheilten. Im Besonderen ist hier nur zu berücksichtigen, daß unter Bezugnahme auf Fig. 365 der für den Körper des Strebepfeilers in Betracht kommende, im Punkte n angreifende resultirende Horizontalschub $H_1 = l H$ Quadr., bzw. Cub.-Met. bei der graphischen Unterfuchung oder als $H_1 = l H \gamma$ Kilogr. bei der rechnerischen Ermittlung der Stabilität des Strebepfeilers einzuführen ist. Die Größen H und γ haben die früher angegebene Bedeutung; l ist die Entfernung der Strebepfeiler von Mitte (in Met.).

Die Gewichtsbestimmung vom Körper des einzelnen Strebepfeilers erfolgt selbstredend unter Berücksichtigung der meistens von vornherein angenommenen Breite w desselben, einer vorläufig zu wählenden Dicke x und des Eigengewichtes γ_1 des betreffenden Mauermaterials. Bei der graphischen Methode ist dieses Mauermaterial auf das Wölbmaterial, wie früher besprochen, zu reduciren. Die für den Höhenchnitt des Strebepfeilers darzustellende Mittellinie des Druckes darf die Kernfläche des Querschnittes desselben nicht verlassen; außerdem muß das Gleichgewicht gegen Gleiten in bekannter Weise bekundet sein.

Findet die Einwölbung der Kappengewölbe nicht auf »Kuf«, sondern auf »Stich« oder »Schwalbenschwanz« statt, wovon unter c des Näheren mitgetheilt wird, so

Fig. 365.



entstehen schmale, neben einander liegende Wölbstreifen, Wölbscharen oder Zonen, welche ihr Widerlager sowohl an den eigentlichen Widerlagsmauern, als auch an den Stirnmauern und endlich auch an den Seitenflächen einzelner Zonen selbst finden.

In jedem Falle treten bei dieser Art der Einwölbung die sämtlichen das Gewölbe begrenzenden Raumtheile als Widerlager auf, so daß auch die Stirnmauern einem Gewölbschube ausgesetzt sind, welcher hier sogar für die einzelnen Wölbscharen in verschiedenen Höhen über der Kämpferebene des Gewölbes angreift und auch in Bezug auf einander verschieden groß ausfällt.

Ist die Leitlinie des Kappengewölbes, wie eigentlich stets der Fall, ein flacher Kreisbogen, so ist die Leitlinie jeder einzelnen Wölbschar ein elliptischer Bogen, dessen Kämpferpunkte in verschieden hoch gelegenen wagrechten Ebenen auftreten. Im Allgemeinen sind demnach, streng genommen, die einzelnen Wölbscharen schmale einhöftige oder ansteigende Gewölbe, deren Gewölbschub nach den in Art. 146 (S. 209) gemachten Angaben ermittelt werden kann, wenn dabei nur die Annahme gemacht wird, daß etwas abweichend von der Wirklichkeit die seitlichen Begrenzungsflächen dieser Wölbscharen einander parallelen, lothrechten Ebenen angehören, während dieselben, streng genommen, in verschieden zu einander geneigten Ebenen liegen, welche die Laibungsfläche des Gewölbes nach Ellipsenstücken durchschneiden, deren Grundrifsprojectionen ebenfalls gekrümmt sind. Die Abweichung von der Wirklichkeit noch weiter zu treiben und auch Abstand zu nehmen von der Eigenschaft der Wölbscharen, wonach dieselben als einhöftige kleine Gewölbe erscheinen, um dieselben ohne Weiteres als symmetrisch geformte und symmetrisch belastete Gewölbe anzusehen, könnte füglich unterlassen werden, da die statische Untersuchung einhöftiger Gewölbe nebst deren Widerlager keine erheblich zu nennende Schwierigkeiten verursacht, so fern überhaupt nicht sehr hoch gespannte theoretische Entwicklungen angestellt werden sollen.

Eine in dem einfacheren Sinne geführte Untersuchung eines auf »Schwalbenschwanz« gewölbten Kappengewölbes ist unter Benutzung der Methode der graphischen Statik unter Beachtung einhöftig geformter Wölbscharen in Fig. 366 vorgenommen. Sie soll dazu dienen, namentlich auch einen Einblick in die Einwirkung des Gewölbschubes auf die Stirnmauern des überwölbten Raumes zu gewinnen; sie soll aber auch durch ihren Gang die nöthigen, beachtenswerth erscheinenden Anhaltspunkte gewähren, welche für die später zu berücksichtigende Stabilitätsermittelung der flachen Klostergewölbe, der Kreuzgewölbe u. s. f. weiter benutzt werden können, zumal der sog. Verband auf »Stich« oder »Schwalbenschwanz« in der Praxis des Gewölbebaues eine sehr ausgedehnte Anwendung findet.

Es sei $abcd$ (Fig. 366) ein rechteckiger Raum von 4 m Breite und 8 m Länge. Derselbe wird mit einem Kappengewölbe überdeckt, dessen Leitlinie ein Kreisbogen ist, welcher als sog. Kreuzrifsbogen (Centriwinkel = 60 Grad) beschrieben wurde. Das Pfeilverhältniß ist demnach $\frac{1}{7,46}$, also etwas mehr als $\frac{1}{8}$.

Betrachtet man den einzelnen Wölbstreifen I , so erhält derselbe seine Stützen an der eigentlichen Widerlagsmauer ac und in der Mitte der Stirnmauer ab . Derselbe möge innerhalb des Grundrisses des Wölbraumes einen beliebigen Winkel φ mit der Richtung ab einschließen. Seine Wölblinie ke ist ein Theil einer Ellipse, welche nach der gegebenen Leitlinie des Kappengewölbes bestimmt werden kann. Die Kämpferpunkte k und e liegen in verschiedenen wagrechten Ebenen; das Gewölbe selbst besteht nicht aus zwei congruenten Hälften mit symmetrischer Belastung, ist also ein unsymmetrisch geformtes und unsymmetrisch belastetes Gewölbe oder kurz ein einhöftiges Gewölbe.

Wird die Tiefe desselben durch zwei parallele lothrechte Ebenen im Abstände gleich der Längen-

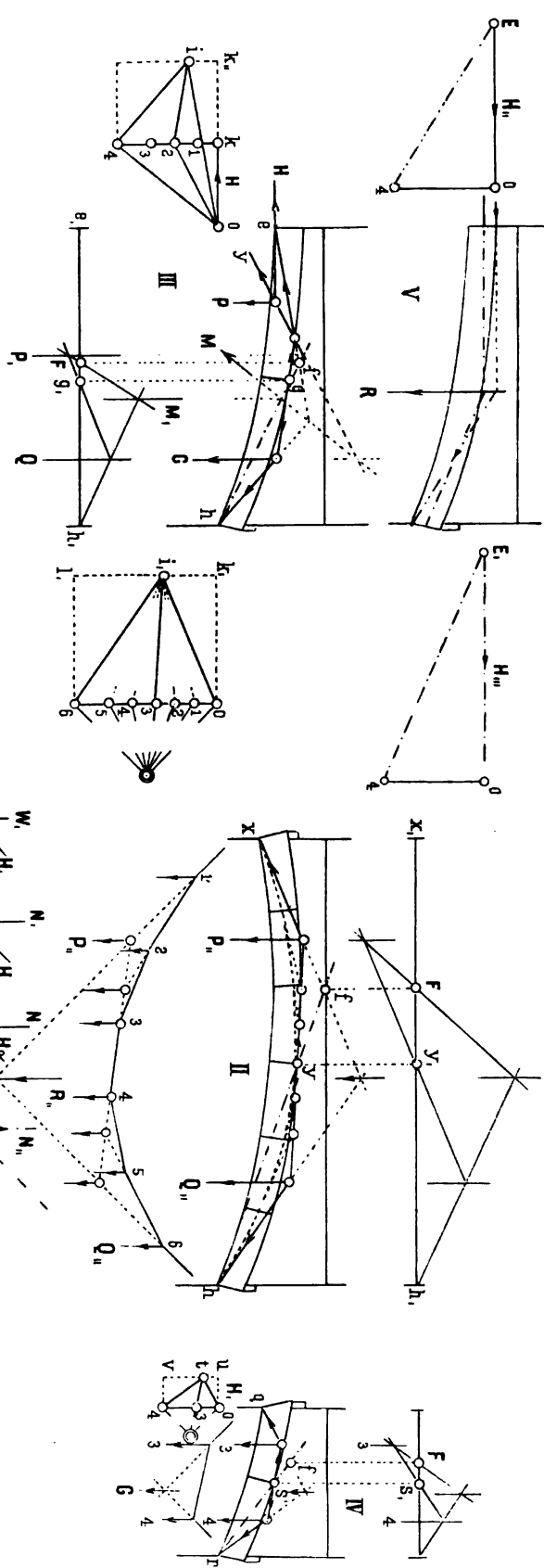
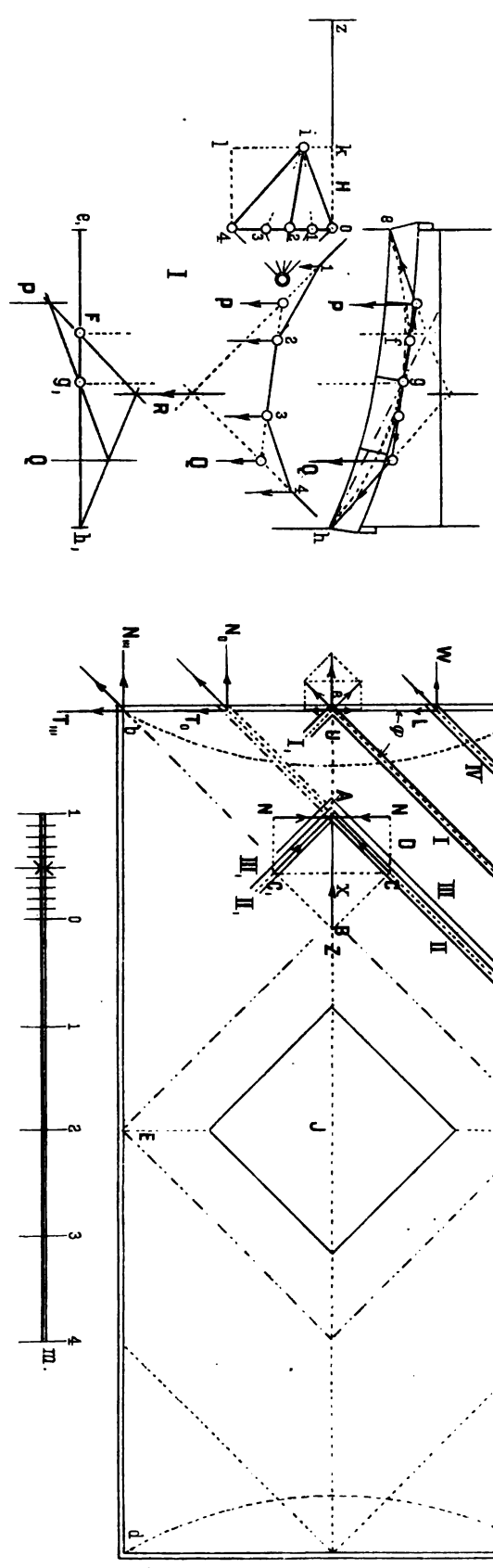


Fig. 366.



einheit begrenzt genommen, so kann bei gegebener oder gewählter Gewölbstärke und bei fest gesetzter Belastung, zurückgeführt auf Wölbmaterial, die Stabilitätsuntersuchung des Gewölbstreifens ganz so vorgenommen werden, wie in Art. 146 (S. 209) mitgeteilt ist. Als Nutzlast sind 320 kg für 1 qm angenommen; die Gewölbstärke ist zu 1 Stein fest gesetzt.

Für die Bestimmung der Mittellinie des Druckes egh wurde die durch h und g gelegte Gerade als Polaraxe benutzt. Der in g wirkende Gewölbefschub ergibt sich als zi , bzw. iz im zugehörigen Kräftepolygon. Die in e und h auftretenden Drucke der Kämpferfugen bestimmen sich in demselben Polygon als oi , bzw. iq .

Der Horizontalschub H wird als wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes zi der Größe nach gleich ok , bzw. ko . Denselben Werth besitzen auch die wagrechten Seitenkräfte der bezeichneten Kämpferdrücke, welche die Widerlagsmauer und die Stirnmauer treffen. Die lothrechten Seitenkräfte dieser Drücke sind oz , bzw. zq .

In der Zeichnung ist $ok = 0,78$ m gefunden und, da die Basis oz , welche für die Verwandlung der Belastungsfläche des Gewölbes benutzt wurde, gleich 2 m ist, so wird

$$H = 2 \cdot 0,78 = 1,56 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

Diesem Werthe von H entspricht nach der auf S. 202 enthaltenen Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein bis $1\frac{1}{2}$ Stein. Da aber nach einer vorgenommenen Prüfung der größte Normaldruck N für die Kämpferfuge h nur $2 \cdot 0,88 = 1,76$ Quadr., bzw. Cub.-Met. beträgt, so wird hierfür nach der angeführten Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein ausreichend. Bei Kappengewölben kann dieser Werth von N Berücksichtigung finden, und dieserhalb ist die Gewölbstärke mit 1 Stein gelassen. Dieselbe kann durchgängig beibehalten werden, weil innerhalb des Wölbgebietes $ae \mathcal{J} U$ kein einziger mit I parallel laufender Wölbstreifen eine größere Spannweite als I selbst erhält. Dasselbe gilt auch für die übrigen Wölbgebiete, welche dieselbe Anordnung der Wölbstreifen erfahren, wie das bezeichnete Gebiet.

Für den mit I zusammentretenden Streifen I_1 , welcher vollständig der Gewölbzone I entspricht, entsteht derselbe Gewölbschub $H = 1,56$ Quadr., bzw. Cub.-Met.

Die Dicke dieser Streifen ist aber nicht 1 m, sondern nur gleich einer Backsteindicke, also gleich 0,065 m; mithin kommt für jeden Streifen nur ein Horizontalschub von $1,56 \cdot 0,065 = \approx 0,1$ Quadr., bzw. Cub.-Met. oder bei einem Gewicht des Wölbmaterials von 1600 kg für 1 cbm von $1600 \cdot 0,1 = 160$ kg in Betracht.

Erfetzt man diese beiden Kräfte je für sich durch zwei Seitenkräfte, welche in der Richtung der Scheitellinie $U \mathcal{J}$ des Gewölbes und rechtwinkelig hierzu wirkend genommen werden, so vereinigen sich die ersten beiden zu einer wagrechten Mittelkraft $U = 2H \cdot \sin \varphi$; d. i. im vorliegenden Falle, da $\varphi = 45$ Grad gewählt ist, $U = 2 \cdot 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 226,24$ kg. Diese Kraft trifft die Stirnmauer rechtwinkelig im Punkte e . Die beiden anderen in e angreifenden Seitenkräfte, welche an der inneren Seitenfläche der Stirnmauern wirken, halten sich im Gleichgewicht.

Die Widerlagsmauer ac erhält vom Streifen I den Horizontalschub $H = 160$ kg. Die rechtwinkelig zu ac gerichtete Seitenkraft desselben wird also $N_1 = H \cdot \cos \varphi = 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113,12$ kg, während die mit ac zusammenfallende, in der Kämpferlinie des Gewölbes wirkende Seitenkraft $T_1 = H \cdot \sin \varphi$, d. h. auch hier gleich $160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113,12$ kg wird.

Für einen Streifen IV entsteht wiederum ein einhüftiges elliptisches Gewölbe, dessen Stabilitätsuntersuchung in der Zeichnung in bekannter Weise unter Benutzung der Polaraxe rs vorgenommen wurde. Der Horizontalschub H_1 ergab sich zu $0,81 \cdot 2 = 0,82$ Quadr., bzw. Cub.-Met., mithin für die Dicke 0,065 m des Streifens zu

$$0,82 \cdot 0,065 \cdot 1600 = 64,48 \text{ kg.}$$

Dieser Schub trifft sowohl die Stirnmauer ab , als auch die Widerlagsmauer ac .

Für die rechtwinkelig zu diesen Mauerkörpern wirkenden Seitenkräfte erhält man $W = H_1 \cdot \sin \varphi$ und $W_1 = H_1 \cdot \cos \varphi$, während für die mit den Begrenzungen ab , bzw. ac zusammenfallenden Seitenkräfte sich $L = H_1 \cdot \cos \varphi$ und $L_1 = H_1 \cdot \sin \varphi$ ergibt. Für $\varphi = 45$ Grad ist $\sin \varphi = \cos \varphi$ und demnach

$$W = W_1 = L = L_1 = 64,48 \frac{1}{\sqrt{2}} = \approx 45,6 \text{ kg.}$$

Von Wichtigkeit ist die Prüfung des Einflusses, welchen die Gewölbschübe der sämtlichen Wölbstreifen zwischen dem mittleren Stirnstreifen und der Mittellinie EE des Gewölbes auf die Stirnmauer

und die eigentlichen Widerlagsmauern ausüben. Jeder Gewölbstreifen liefert jedoch nur scheinbar in der Richtung $\mathcal{J}U$, d. h. in der Scheitellinie des Gewölbes, einen vom Gewölbschube, welcher in einem Einzelfstreifen auftritt, abhängigen Horizontalschub. Möchte derselbe an sich betrachtet auch keine übermäßige GröÙe aufweisen, da sehr weit gespannte Kappengewölbe nicht in Anwendung kommen, so ist doch für dieselben sehr häufig eine nicht unbedeutende Länge unter Benutzung des Verbandes auf Schwalbenschwanz erfahrungsmäßig zur Ausführung gekommen, ohne daß bei diesen langen Gewölben übermäßig starke Stirnmauern erforderlich geworden wären. Wollte man einfach die erwähnten, scheinbar auftretenden einzelnen Horizontalschübe, welche in $\mathcal{J}U$ liegen, summiren, so müßte bei sehr großer Länge von $\mathcal{J}U$ ein sehr großer resultirender Horizontalschub für die Stirnmauer in ihrer Mitte entstehen, der schließlich, so darf man folgern, bei unendlicher Länge des Gewölbes auch unendlich groß werden müßte. Dieser Annahme, wonach ein solches Addiren der einzelnen Horizontalschübe zulässig sei, widerspricht aber aller Erfahrung. Sehr lange Gänge sind häufig mit Kappengewölben im genannten Verbands ausgeführt und doch haben nicht unverhältnißmäßig starke Stirnmauern den gesammten entspringenden Horizontalschub ohne besonderen Nachtheil für ihren sicheren Bestand und ohne besondere Verankerung aufgenommen. Die Stärke dieser Stirnmauern würde sicherlich nicht genügend gewesen sein, wenn der durch Summierung der einzelnen Horizontalschübe der äußerst zahlreichen Wölbstreifen ermittelte gesammte Horizontalschub für die Stirnmauern thatsächlich zur Wirkung gekommen wäre.

So liefert in dem hier behandelten Beispiele der Elementarstreifen I in Gemeinschaft mit dem ihm zugehörigen Streifen I_1 einen Horizontalschub $U = 226,24 \text{ kg}$. Nimmt man an, ein Gewölbe von derselben Spannweite gleich 4 m besitze statt 8 m Länge eine solche von 80 m , so würde die Scheitellinie von U bis Z , für welche nur die Wölbstreifen von gleicher Spannweite mit dem Streifen I zunächst einmal in Frage kommen mögen, bei dem Winkel $\varphi = 45^\circ$ eine Länge von $\frac{80}{2} = 40 \text{ m}$ besitzen. Für diese Strecke würden unter Berücksichtigung von 1 cm starken Fugen zwischen den Streifen

$$\frac{38}{0,075 \frac{1}{\sin \varphi}} = \frac{38}{0,075 \sqrt{2}} = \infty 380 \text{ Schichten}$$

auftreten und folglich ein resultirender Horizontalschub allein für diese Schichten von $380 \cdot 226,24 \text{ kg} = \infty 85972 \text{ kg}$ entstehen, mithin sich ein Ergebniss herausstellen, welches als widersinnig gelten muß.

Um zu anderen, der Wirklichkeit näher kommenden Ergebnissen zu gelangen, möge das Gewölbe bis zu den Streifen III und III_1 ausgeführt sein. Würden die unterstützenden Lehergrüste auch beseitigt sein, so würde dieses Gewölbstück sich frei schwebend erhalten, so fern jeder Streifen zwischen I und III an sich im Gleichgewichte ist. Sein Widerlager findet derselbe in seiner Gesamtheit an der Mauer ac und an den bis zur Stirnmauer eingefügten Streifen des Gewölbestückes.

Bei der praktischen Ausführung, wovon später noch näher die Rede ist, wird nach und nach jedes Paar zusammengehöriger Wölbstreifen für sich gewölbt; von geschickten Arbeitern oft aus freier Hand nur unter Benutzung einer sog. Lehre. Diese besteht aus einem Brettstücke, dessen obere Begrenzung der Wöblinie des Streifens entspricht. Hiernach können auf Schwalbenschwanz eingewölbte Kappen in der Nähe ihres Scheitels selbst eine Oeffnung behalten; eine Anordnung, welche auch häufiger getroffen wird.

Werden die Gewölbstreifen II und II_1 eingewölbt, so stützen sich dieselben gegen die Widerlagsmauer und gegen die Streifen III und III_1 derart, daß die Kämpferdrücke für jene Mauer und für diese Streifen in einer GröÙe und Richtung auftreten, welche dem möglichst kleinsten Gewölbschube der Elementarstreifen II , bzw. II_1 entsprechen. Die Form und Belastung dieser Streifen sind aber in vollständiger Uebereinstimmung mit dem Streifen I , so daß die statische Untersuchung derselben auch übereinstimmende Ergebnisse mit derjenigen für I liefern muß.

Die in den Kämpferpunkten e und h für sich entspringenden Kämpferdrücke sind wieder oi , bzw. iq . Die wagrechten Seitenkräfte $H = ok$, bzw. lq , die lothrechten Seitenkräfte oa , bzw. aq ergeben sich gleichfalls wie früher. Die von II und II_1 auf den Gewölbkörper, welcher bis III , bzw. III_1 reicht, übertragenen Horizontalschübe setzen sich zu einem in der Scheitellinie des Gewölbes wirkenden Horizontalschub $X = aD = aH \sin \varphi$ zusammen, während die senkrecht zur Scheitellinie genommenen Seitenkräfte N der Horizontalschübe H sich im Gleichgewicht halten und die Endflächen der Streifen II und II_1 gegen einander pressen. Der noch übrig bleibende resultirende Horizontalschub X trifft zunächst die angrenzenden Gewölbstreifen III und III_1 im Punkte A und muß selbstverständlich durch ein entsprechendes Widerlager aufgehoben werden.

Denkt man sich, die Streifen III und III_1 wären von dem übrigen bis zur Stirnmauer gehenden Gewölbkörper um irgend eine Strecke nach \mathcal{J} zu abgerückt, nimmt man ferner an, der übrige Gewölb-

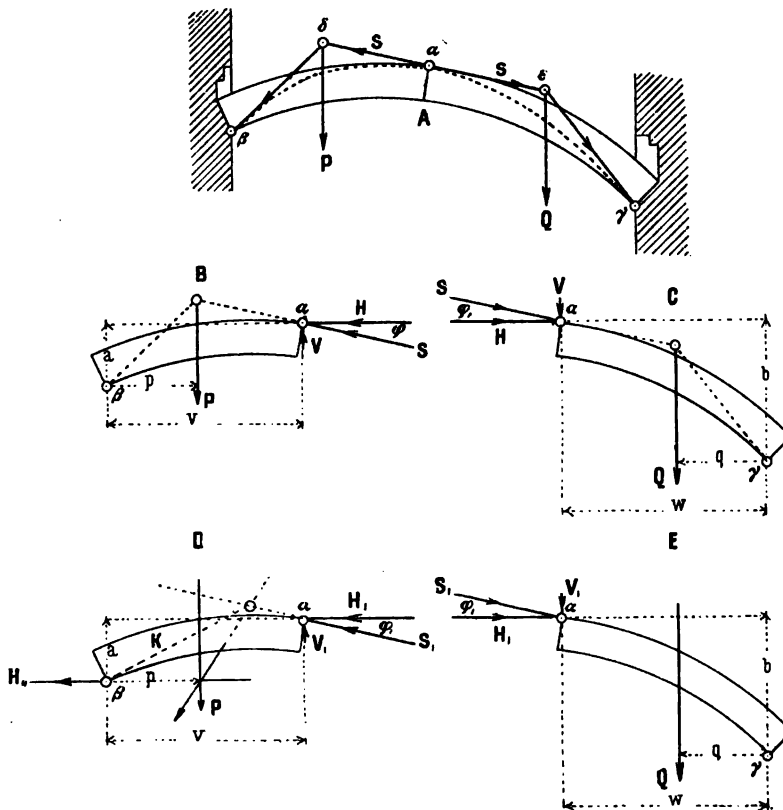
körper sei in der Richtung der Scheitellinie durchschnitten und lege sich mit den von einander getrennten Scheitelflächen seiner Streifen gegen eine unpressbare Strebe, deren Axe in der Scheitellinie liegt, so daß das eine Ende dieser Strebe sich gegen die Stirnmauer, das andere Ende derselben gegen die auspringende Ecke der Streifen III und III_1 setzt; so würde diese Strebe den Horizontalschub X allein aufnehmen und unmittelbar auf die Stirnmauer übertragen, ohne den übrigen Gewölbkörper in Mitleidenschaft zu ziehen.

Würde man für jeden Streifen so verfahren, so käme allerdings die Summe aller Horizontalschübe X der zahlreichen Wölbstreifen von I nach V ohne Weiteres auf die Stirnmauer, und zwar in der Richtung der Scheitellinie des Gewölbes. Eine derartige Anordnung einer Strebe findet aber nicht statt; ein gewaltig großer resultirender Horizontalschub für die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes kann gleichfalls bei sehr langen Gewölben erfahrungsmäßig nicht auftreten.

Betrachtet man zuvor den Gleichgewichtszustand eines Streifens III , bzw. III_1 , in dem die in A wirkende Kraft BA von der Größe X nach der Richtung dieser Streifen in die beiden wagrechten Seitenkräfte CA und C_1A zerlegt wird, welche offenbar jede gleich H der Streifen II und II_1 ist, so wird die Beanspruchung der Streifen III und III_1 durch diese Kräfte CA , bzw. CA_1 und ihre gegebene Belastung bekannt.

Um danach die Stabilitätsuntersuchung des in solcher Weise beanspruchten einhöftigen Gewölbstreifens III vornehmen zu können, möge folgende Erörterung Platz greifen.

Fig. 367.



In Fig. 367 sei für das einhöftige Gewölbstück A der möglichst kleinste Gewölbeschub als S und die dazu gehörige, ganz in der Gewölbfäche verbleibende Mittellinie des Druckes als $\beta a \gamma$ gefunden. Um die Größe dieses Gewölbeschubes durch Rechnung zu bestimmen, ist für die Gewölbtheile B und C der Gewölbeschub S unter Berücksichtigung seiner Richtung gegen die beiden Gewölbtheile in die beiden Seitenkräfte H und V zerlegt, wovon erstere wagrecht, letztere lothrecht wirkend genommen sind. Für den Gleichgewichtszustand gegen Drehung erhält man im System B , bezogen auf den Drehpunkt β , bei

der bekannten Lage der Punkte α, β und der bekannten Gröfse, Richtung und Lage der Kraft P , welche das Gewicht des Gewöltheiles B darstellt,

$$0 = -Vv - Ha + P\rho. \quad 206.$$

Für den Theil C mit dem Gewichte Q ergibt sich in Bezug auf den Drehpunkt γ in entsprechender Weise

$$0 = -Vw + Hb - Qq. \quad 207.$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man

$$H = \frac{P\rho w + Qqv}{aw + bv}, \quad 208.$$

$$V = \frac{P\rho b - Qqa}{aw + bv}, \quad 209.$$

und hiernach würde die Gröfse des Gewölbschubes S aus der Gleichung

$$S = \sqrt{H^2 + V^2} \quad 210.$$

zu bestimmen sein.

Der Neigungswinkel φ des Gewölbschubes S zur Wagrechten wird ermittelt durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V}{H}. \quad 211.$$

Wirkt nun an dem sonst unveränderten Gewölbsstücke A noch eine gegen den Punkt β nach außen gerichtete wagrechte Kraft H_1 , von ganz beliebiger Gröfse, so läßt sich der Einfluß, welchen diese hinzugefügte Kraft auf den Gewölbschub S ausüben könnte, durch folgende Untersuchung kennzeichnen.

Der neue Gewölbschub sei S_1 ; die entsprechenden wagrechten und lothrechten Seitenkräfte desselben mögen H_1 , bzw. V_1 sein. Für den Gleichgewichtszustand gegen Drehung im Kräftesystem D ist in Bezug auf den Drehpunkt β

$$0 = -V_1v - H_1a + P\rho + H_1 \cdot \text{Null}, \quad 212.$$

während für den Zustand des Gleichgewichtes gegen Drehung im sonst unveränderten System E unter Annahme des Drehpunktes γ

$$0 = -V_1w + H_1b - Qq \quad 213.$$

sein muß. Aus diesen beiden Ausdrücken findet man zunächst

$$H_1 = \frac{P\rho w + Qqv}{aw + bv}, \quad 214.$$

d. h. nach Gleichung 208 auch

$$H_1 = H$$

und sodann

$$V_1 = \frac{P\rho b - Qqa}{aw + bv}, \quad 215.$$

oder unter Berücksichtigung von Gleichung 209 auch

$$V_1 = V.$$

Danach muß auch $S_1 = S$ und $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi$ sein, so daß, wenn, wie hier der Fall, von elastischen Formveränderungen des Gewölbkörpers ganz und auch von der Verkittung der Wölbesteine durch Mörtel vorläufig abgesehen wird, die Kraft H_1 auf den Gewölbschub S gar keinen Einfluß ausübt, sobald nur P, Q und die gegebene Lage der Punkte β, α, γ unverändert bleiben. Sie beeinflusst jedoch, wie ohne Weiteres aus der Zeichnung zu erkennen ist, den durch β gehenden Kämpferdruck K , welcher aus H_1, P und $S_1 = S$ resultirt und dessen wagrechte Seitenkraft gleich $H_1 + H_1$ ist.

In Fig. 366 ist im Plane III unter Einfügen der durch e geführten wagrechten Kraft $H = ok$ des Streifens II , bzw. I die Stabilitätsuntersuchung für den Streifen III vorgenommen und, wie es sein muß, der in g wirkende Gewölbschub wieder wie beim Streifen I gleich zi , bzw. iz gefunden, während die wagrechte Seitenkraft ok , des in e wirkenden Druckes $oi = 2H$ ist.

Da auf den Gewölbschub der einzelnen Streifen durch Hinzufügen jener gekennzeichneten Kraft H_1 , kein Einfluß ausgeübt wird, da ferner eine unmittelbare Uebertragung der wagrechten Seitenkräfte der stets größer werdenden Kämpferdrücke in den Scheitellinien der einzelnen Streifen von Z bis U auf die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes nicht als zulässig erachtet werden kann, so muß die Beanspruchung des zwischen Z und U , bzw. zwischen \mathcal{Z} und U befindlichen Gewölbkörpers, so wie auch der zwischen a und dem Streifen I , bzw. zwischen b und I_1 befindliche Streifen von der Beschaffenheit

des Streifens *IV* in anderer Weise erfolgen, als im Vorhergegangenen und hier und dort wohl auch bei der Stabilitätsuntersuchung von Kreuzgewölben, wenn deren Gewölbkappen gleichfalls auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführt werden sollen, angenommen wurde.

Hinsichtlich der Beanspruchung der Stirnmauern durch den Gewölbschub wird man der Wahrheit durch folgende Betrachtung näher kommen.

Der gesammte Gewölbkörper besteht im Allgemeinen aus verhältnißmäßsig kleinen Wölbsteinen, die, wenn auch entsprechend auf Schwalbenschwanz-Verband geordnet, dennoch das Zerlegen in lauter neben einander liegende Zonen gestatten, welche sämmtlich in ihren Axen unter einem Winkel φ zur Stirnmauer gerichtet sind und für die größte Länge des Gewölbes über die Scheitellinie desselben mit hinweg laufen. Die Einwölbung nach einer solchen parallelen Zonenlage würde, wenn die Stützflächen derselben gegen Gleiten gesichert sind und auch sonst der Gleichgewichtszustand der einzelnen Streifen bekundet ist, praktisch ohne Bedenken vorgenommen werden können. Für die theoretische Untersuchung hat diese Zerlegung den Vortheil, daß dadurch die möglicher Weise eintretende ungünstigste Beanspruchung der Stirnmauer, bezw. Widerlagsmauer in Betracht gezogen wird.

Würden z. B. die Streifen *II* oder *II*₁ bis zur Stirnmauer *ab* erweitert gedacht, so enthält diese Zone einen Theil *II* oder *II*₁ als Haupttheil und den punktirten Theil als Nebentheil. Die gesammte Zone bildet alsdann ein einhöftiges Gewölbe, dessen Stabilität im Plane *II* untersucht ist. Hiernach wird der in *x* angreifende Kämpferdruck für die Stirnmauer *ab* als *oi*₁ und der in *h* wirkfame Kämpferdruck für die Widerlagsmauer *ac* als *i*₁ δ gefunden. Dieselben schließsen mit den Normalen der zugehörigen Kämpferfugen einen Winkel ein, welcher hier weit kleiner bleibt, als der Reibungswinkel des Materials, so daß eine Gefahr des Abgleitens des Wölbstreifens, d. h. wie ausdrücklich bemerkt werden soll, nach dem Innenraume des Gewölbes zu, nicht vorhanden ist.

Zerlegt man die Kämpferdrücke in ihre wagrechten und lothrechten Seitenkräfte, so kommen für die vorliegende Untersuchung die wagrechten Seitenkräfte *ok*₁, bezw. *i*₁ δ hauptsächlich in Betracht. Beide sind von gleicher Größe; sie messen 1,2 m. Bei einer Zonentiefe von 1 m und bei der zu Grunde gelegten Basis *os* = 2 m entsprechen dieselben einer Kraft von $1,2 \cdot 2 \cdot 1600 = 3840$ kg und somit für den Streifen von $\frac{1}{2}$ Stein = 0,065 m einer Kraft von $0,065 \cdot 3840 = 249,6$ kg = *H*₀.

Diese Kraft *H*₀ läßt sich am Widerlager *ac* zerlegen in eine Kraft

$$N = H_0 \cdot \cos \varphi,$$

welche senkrecht auf *ac* wirkt, und in eine Seitenkraft

$$T = H_0 \cdot \sin \varphi,$$

welche in der Richtung von *ac* fällt.

Die entsprechend vorgenommene Zerlegung von *H* an der Stirnmauer *ab* ergibt

$$N_0 = H_0 \cdot \sin \varphi \quad \text{und} \quad T_0 = H_0 \cdot \cos \varphi.$$

Da hier der Winkel $\varphi = 45^\circ$ genommen war, so wird, weil $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ$ ist, auch $N = T = N_0 = T_0$, und zwar $= H_0 \cdot 0,7071 = 249,6 \cdot 0,7071 = \infty 176,5$ kg.

Hierbei ist nun noch zu bemerken, daß die Kräfte *T* und *T*₀ das Bestreben haben, den Gewölbstreifen längs der Widerlagsfläche zum Gleiten zu bringen. Um dieses Gleiten bei dem noch nicht vollendeten Gewölbe zu verhindern, könnten die Widerlagsflächen für jede Zone rechtwinkelig zur Zonenebene, also in der Gesamtheit fägebörmig ausgeführt werden. Eine solche Anordnung unterbleibt meistens, und es ist alsdann beim Einwölben ein gut und schnell bindender Mörtel zu verwenden. Ist das Gewölbe in allen Schichten am Widerlager angefetzt, so halten sich die in der Richtung von *a* nach *E* und die in entgegengesetzter Richtung von *b* nach *E* beim Schwalbenschwanz-Verband entstehenden Kräfte *T* das Gleichgewicht.

Bei der Berücksichtigung der Preßbarkeit des Wölbmaterials sind, wie früher in Art. 141 (S. 194) schon erwähnt, z. B. für den Streifen *II* die Punkte *x*, *y* und *h* mehr in das Innere der Stirnfläche zu verlegen. Hierdurch entsteht jedoch ein größerer Gewölbschub, welcher nach den gemachten Angaben leicht bestimmt werden kann.

Wäre der Gewölbkörper in den Ecken von *a* und *b*, bezw. von *c* und *d* aus nur bis zu den von der Mitte *e* der Stirnmauer *ab* abzweigenden Streifen *I* und *I*₁ ausgeführt und dann nach beseitigter Unterrüstung sich selbst überlassen, so würde ein Einzelfstreifen von der Beschaffenheit der Wölbseicht *IV* nach der Untersuchung im Plane *IV* nur einen wagrechten Schub *ou* = $0,4 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0,065$ kg = 83,2 kg liefern. Die Seitenkräfte $W_1 = 83,2 \cdot \cos \varphi$ und $W = 83,2 \cdot \sin \varphi$, d. h. hier $W_1 = W = 83,2 \cdot 0,7071$ kg = $\infty 59$ kg würden in solchem Falle, bei dem die Eckstücke des Gewölbkörpers durch das ganze übrige Gewölbe noch nicht in Mitleidenschaft gekommen sind, für die Widerlagsmauer, bezw. Stirnmauer in Rechnung zu ziehen sein. Sobald aber die Gewölbstreifen in der Richtung von *e* nach *f* zu weiter aus-

geführt werden, und namentlich nach Vollendung des Gewölbes wird der ganze Gewölbkörper diese Eckstücke in Anspruch nehmen und beeinflussen.

Denn denkt man sich, daß beim geschlossenen Gewölbe die Stirnmauer mit dem bis A reichenden Gewölbkörper seitlich nur wenig ausweichen würde, so daß bei A eine Lücke entstände, so würde der Gewölbschub des Streifens bei A sich in seiner Kräfteebene fortzupflanzen streben, d. h. in der Fortsetzung der Richtungsebene der angenommenen und bei der Wölbung innegehaltenen Zonenlage. Hierdurch wird es erklärlich, daß, wie die Erfahrung in der Praxis lehrt, kein übermäßig großer Gewölbschub auch bei erheblich langen Kappengewölben mit Schwalbenschwanz-Verband auf die Stirnmauer gelangt. Der Streifen II liefert innerhalb der Strecke eb der Stirnmauer die Kräfte N_0 , bzw. T_0 . Der zugehörige Streifen II_1 , gehörig erweitert genommen, würde bei dem in Rede stehenden Verbands, entsprechend einer Zonentheilung des Gewölbes parallel zu II_1 , für die Stirnmauer innerhalb der Strecke ea dieselben Kräfte N_0 und T_0 ergeben. Gefällt sich an diesen Stellen noch der Schub W eines antretenden Streifens, z. B. IV , hinzu, so ist die ungünstigste Beanspruchung für die Stirnmauer in eine gewisse Grenze gebracht. Der Rechnung nach wäre alsdann für diese Stelle der ungünstigste Schub gleich

$$N_0 + W = 176,5 + 59 = 235,5 \text{ kg.}$$

In der Mitte e der Stirnmauer wirkt als ungünstigster rechtwinkliger Schub die auf S. 279 ermittelte Kraft $U = 226,24 \text{ kg.}$ Setzt man in der angegebenen Weise, der Zonentheilung gemäß, die Untersuchung der einzelnen Wölbstreifen fort, so gelangt man in bE zu einem Wölbstreifen von größter Spannweite. Derselbe tritt nun aber als symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes kleines Gewölbe mit elliptischer Wöblinie auf. Die statische Untersuchung dieses Streifens ist im Plane I' vorgenommen. Man erhält hiernach den möglichst kleinsten, jetzt wagrecht gerichteten Gewölbschub $oE = H_{II}$, zu

$$1,55 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0,008 \text{ kg} = 322,4 \text{ kg.}$$

Die senkrecht zur Widerlagsmauer ac , bzw. bd gerichtete Seitenkraft derselben ist $N_{II} = T_{II} = 322,4 \cdot \cos \varphi = 322,4 \cdot 0,7071 = \approx 228 \text{ kg}$, und ihre rechtwinkelig zur Stirnmauer gerichtete Seitenkraft ist $N_{II} = 322,4 \cdot \sin \varphi = 322,4 \cdot 0,7071 = \approx 228 \text{ kg}$, deren Größe hier auch für die in ac fallende Seitenkraft $T_{II} = 322,4 \cdot \sin \varphi = \approx 228 \text{ kg}$ maßgebend wird.

Für alle bis zu dem durch c parallel mit bE geführten Streifen bleibt beim ganz geschlossenen Gewölbe derselbe Gewölbschub H_{II} , während von hier ab für die Stirnmauer cd dieselbe Untersuchung wieder eintritt, welche für die Stirnmauer ab vorgenommen wurde. Sollte in der Nähe des Scheitels J eine Oeffnung verbleiben, so ist anzunehmen, daß die Streifen, welche diese Oeffnung begrenzen und sich wiederum gegen die vorhandenen Gewölbstücke legen, ihren Gewölbschub durch dieselben auf die Widerlager übertragen. Da für diese Grenzstreifen, wenn sich dieselben nicht etwa, wie bei ganz kurzen Gewölben der Fall sein würde, gegen die Stirnmauern mit legen, derselbe Gewölbschub wie für einen ganzen Zonenstreifen bE auftritt, so erleidet die Bestimmung der Widerlagsstärke für ac , bzw. umgekehrt für bd auch bei einer solchen Oeffnung im Allgemeinen keine wesentliche Aenderung; denn würde hinter jeder Ecke eines solchen Streifens eine Lücke sein, so würde der Gewölbschub das Bestreben haben, sich in seiner Kräfteebene fortzusetzen, bis der widerstehende Mauerkörper ac , bzw. bd getroffen wird. Dies gilt für die in der Richtung bE genommenen Zonen eben so gut, wie für die in einer Richtung aE gewählten Zonen.

Wollte man aber auch die kleinen Grenzstreifen der Oeffnung, der Weite dieser Oeffnung entsprechend, als kleine einhöftige Gewölbe behandeln, so würde die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes derselben weit kleiner ausfallen, als die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes eines Zonenstreifens von der Eigenschaft des Streifens bE , bzw. aE , so daß die für letzteren Streifen erforderliche Widerlagsstärke vollauf auch für jene einhöftigen Oeffnungsstreifen und deren Nachbarstreifen genügt.

Für einen Hauptstreifen bE ist noch derjenige wagrechte Gewölbschub $E_1o = H_{III}$, im Plane V ermittelt, welcher einer Mittellinie des Druckes angehört, die durch die Mittelpunkte der angenommenen Scheitelfuge und der Kämpferfuge geht.

Es ist selbstredend, daß für die sichere Standfähigkeit der Widerlagsmauern dieser größere Gewölbschub, wie in Art. 142 (S. 197) für das Tonnengewölbe angegeben, Berücksichtigung finden soll.

Vergleicht man die gewonnenen Ergebnisse der Rechnung, so zeigt sich, daß die auf die Stirnmauer kommenden wagrechten und rechtwinkelig dazu gerichteten Gewölbschübe U , $N_0 + W$ und N_{II} , nur ganz wenig von einander abweichen und daß die Größe derselben auch mit den auf die Widerlagsmauer gelangenden rechtwinkelig und wagrecht gerichteten Schüben N_{II} , der Wölbstreifen bei der Zonentheilung oder Schichtenlage unter einem Winkel $\varphi = 45$ Grad in guter Uebereinstimmung steht. Hierdurch ergibt sich auch eine Bestätigung der in der Praxis bekannten und befolgten Regel, wonach bei der An-

wendung des Schwalbenschwanz-Verbandes bei Kappengewölben unter Verwendung eines Richtungswinkels $\varphi = 45^\circ$ im Allgemeinen die Stärke der Stirnmauern gleich der Stärke der Widerlagsmauern anzuordnen ist.

Soll die Scheitellinie des Kappengewölbes mit dem bezeichneten Verbands nicht wagrecht, sondern unter Hebung des Mittelpunktes der Scheitellinie als gebrochene gerade Linie mit Stich oder als flach gekrümmte Linie (Kreisbogen mit großem Halbmesser) genommen werden, so wird am Grundzuge der Stabilitätsuntersuchung nichts geändert.

Wohl aber ergeben sich bei einer derartigen Anordnung einige Vortheile in Bezug auf die Abnahme der Größe der Gewölbschübe. Durch das Höherlegen der Scheitellinie bis zum Mittelpunkte derselben erhalten die einzelnen Wölbstreifen nach und nach eine größere Pfeilhöhe, und da die Gewichte der Streifen sich in nennenswerther Weise nicht ändern, so wird der Wölbschub im Großen und Ganzen kleiner, als bei wagrechter Lage der Scheitellinie. Dadurch wird im Allgemeinen eine geringere Stärke der Widerlagsmauern, bezw. der Stirnmauern des Gewölbes bedingt.

Sind die parallelen Seitenebenen der Wölbstreifen nicht lothrecht, sondern geneigt, so tritt die im Vorhergegangenen erörterte Beeinflussung der Gewölbstücke an den Ecken des Raumes erst recht ein, ohne aber, da diese Neigung aus praktischen Gründen immer nur äußerst geringfügig genommen werden kann, die früher ermittelte Größe der einzelnen Gewölbschübe wesentlich zu beeinträchtigen. Denn

bei der Bestimmung derselben ist, wie aus dem Plane II von Fig. 366 im Besonderen schon hervorgeht, bereits durch Anordnung geneigter Fugenrichtungen die Bestimmung der Mittellinie des Druckes und des dazu gehörigen Gewölbschubes berücksichtigt.

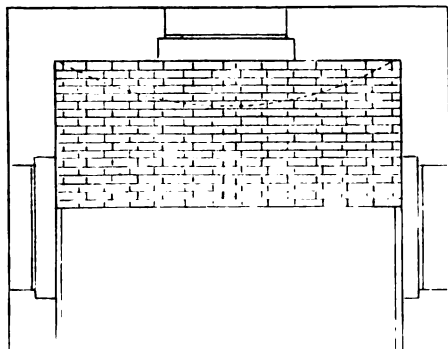
Müssen bei diesen Gewölben Verankerungen der Widerlager eintreten, so gilt hierfür dasselbe wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

Die Stirnmauern sollen niemals so schwach hergerichtet werden, daß dieselben einer Verankerung bedürfen. Würden dieselben unter besonderen Umständen eine nicht ausreichende Stärke erhalten müssen, so ist von der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband Abstand zu nehmen.

Beim sog. *Moller'schen* Verbands (Fig. 368) liegen sämtliche Wölbzonen parallel mit der Stirnmauer. Die einzelnen Backsteine sind auf die hohe Kante gestellt, so daß die Dicke derselben parallel zur Gewölbaxe ist. Jede Gewölbzone bildet ein kleines Kappengewölbe für sich, welches

182.
Kappengewölbe
mit
Stich.

Fig. 368.



183.
Kappengewölbe
mit
Moller'schem
Verband.

feine Stütze an den eigentlichen Widerlagsmauern findet. Die Stabilitätsuntersuchung dieser Wölbzonen erfolgt in gleicher Weise, wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

Fig. 369.

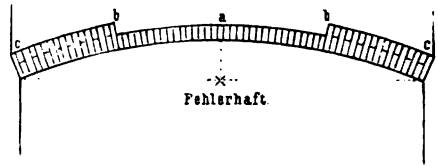


Fig. 370.

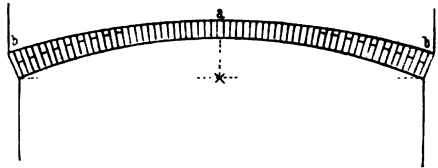
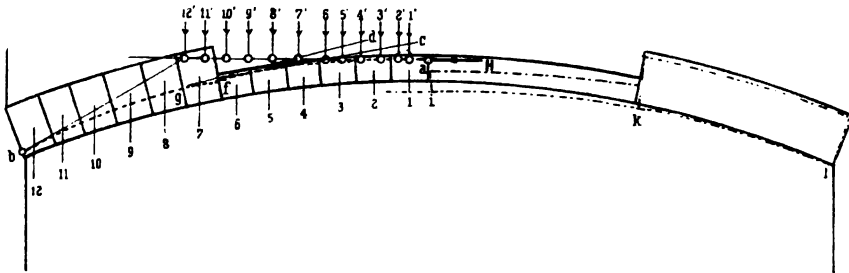


Fig. 371.



Diese Erscheinungen sind thatsächlich bei derart ausgeführten Gewölben beobachtet, die zum Theile nach ihrer Ausrüstung, trotz der Verwendung von gutem Mörtel, eingestürzt sind. Es ist geboten, vor solchen Anordnungen zu warnen. Am zweckmäßigsten ist, um ein Verhauen der Steine zu vermeiden, das Durchführen einer gleichen Stärke vom Scheitel bis zur Widerlagsfuge. Ist dieses in besonderen Fällen bei einer im Scheitel beschränkten Constructionshöhe nicht möglich, so muß durch entsprechendes Verhauen der Wölbsteine am Gewölbrücken die Stetigkeit der Zunahme der Gewölbstärke herbeigeführt werden.

Bei Kappengewölben, mit nicht zu geringer Pfeilhöhe, welche den gewöhnlichen mittleren Belastungen ausgesetzt sind, wird bei gutem Wölbmaterial die Gewölbstärke für Spannweiten bis zu 2,5 m gleich $\frac{1}{2}$ Stein, bis 3 m gleich $\frac{1}{2}$ Stein und behaftet mit 1 Stein starken, 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stein breiten, in Entfernungen von 1,5 bis 2,5 m angebrachten Verstärkungsurten (vergl. Art. 162, S. 212), oder bei größeren Belastungen durchweg gleich 1 Stein genommen. Bei einer Spannweite von 4 m kann die Gewölbstärke, eine stetige Zunahme derselben vorausgesetzt, im Scheitel gleich $\frac{1}{2}$ Stein, am Widerlager gleich 1 Stein betragen und außerdem das Gewölbe mit Verstärkungsurten versehen werden.

Kappengewölbe bis zu 5 m Spannweite erhalten durchweg 1 Stein Stärke, unter

184.
Kappengewölbe
mit
zunehmender
Wölbstärke.

185.
Empirische
Regeln
für die
Wölb- und
Widerlags-
stärke.

Umständen, namentlich bei sehr langen Gewölbzügen, Verstärkungsurte oder auch 1 Stein Stärke im Scheitel und $1\frac{1}{2}$ Stein am Widerlager in stetiger Zunahme.

Sind die Widerlager der Kappengewölbe nicht besonders zu verankern, ist ihre Höhe nicht erheblich über der Rückenlinie des Gewölbes abgegrenzt, so nimmt man die Stärke derselben zu $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der Spannweite an.

c) Ausführung der Kappengewölbe.

Als Wölbmaterial für Kappengewölbe wird hauptsächlich Backstein benutzt. Nur in Gegenden, in welchen dünne, lagerhafte und gute Bruchsteine billiger beschafft werden können, werden diese in Verwendung genommen. Außerdem werden hier und dort statt der Backsteine auch andere künstliche Bausteine, deren Gestalt im Allgemeinen derjenigen der Backsteine entspricht, mit Vortheil als Wölbsteine gebraucht.

186.
Allgemeines.

Soll das Gewicht der Kappengewölbe möglichst gering werden, so verwendet man in besonderen Fällen Hohlziegel oder Lochsteine, unter Umständen auch die porösen Steine, Schwemmsteine u. dergl. Diese Materialien müssen aber stets eine genügende Festigkeit gegen Druck besitzen.

In architektonischer Beziehung erscheint das Kappengewölbe mehr als eigentliche Nützlichkeits-Construction, so daß dasselbe im Vergleich mit den übrigen Gewölbformen, welche einer weiteren künstlerischen Durchbildung fähig sind, in den Hintergrund tritt. Das Kappengewölbe nähert sich mehr einer flachen, wagrechten Decke von mäßiger Breitenabmessung, tritt dem entsprechend in die Erscheinung und erhält danach eine ähnliche Behandlung.

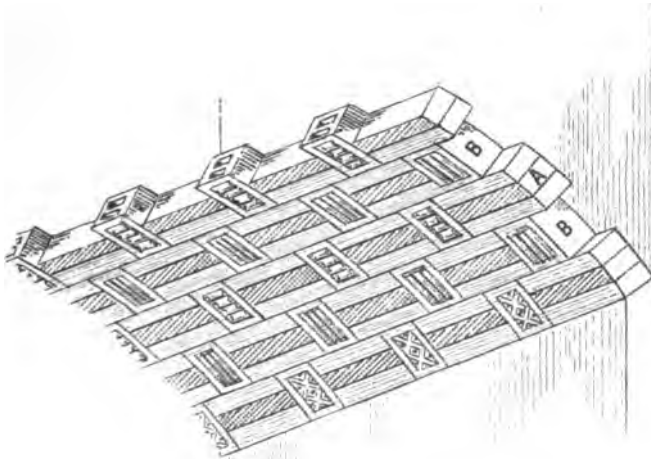
Je nach dem Verbands, welcher bei der Mauerung der Kappengewölbe in Anwendung gebracht wird, unterscheidet man

- 1) Kappengewölbe auf Kuf,
- 2) Kappengewölbe mit Schwalbenschwanz-Verband und
- 3) Kappengewölbe mit *Moller'schem* Verband.

187.
Mauerung
der Kappen-
gewölbe.

Bei den Kappengewölben auf Kuf gemauert gelten genau dieselben Regeln,

Fig. 372.



welche bezüglich der Mauerung der Tonnengewölbe in Art. 149 (S. 218) mitgeteilt sind. Hier möge noch bemerkt werden, daß die Ausführung von gewöhnlichen Kappengewölben in zwei oder mehr flach über einander liegenden Ringschichten weniger gebräuchlich ist.

Soll bei Kappengewölben die Laibungsfläche frei, ohne Putz, in farbigem und noch besonders geschmücktem

Backsteinmauerwerk gelassen werden, so kann, entsprechend dem Verbande auf Kuf, eine reicher gestaltete, häufiger ausgeführte Anordnung nach Fig. 372 getroffen werden. Hierbei sind grössere Wölbsteine *B* gleichsam als Binder eingefügt, zwischen welchen die Läufer-schichten *A* auftreten.

Die Kappengewölbe mit Schwalbenschwanz-Verband erhalten die bereits in Fig. 366 (S. 278) im Allgemeinen angegebene Schichtenbildung, so daß jede derselben ein schmales Kappengewölbe für sich ist, welches in seinen Lagerfugenflächen so zu behandeln ist, daß dieselben senkrecht zur Wölblinie und senkrecht zur Stirnfläche der zugehörigen Zone stehen.

Die besondere Ausführungsweise dieser Zonen wird noch weiter besprochen werden.

Kappengewölbe mit *Moller'schem* Verbande bestehen, wie vorher in Art. 183 (S. 285) bemerkt wurde, aus einer Schar parallel zur Stirnmauer und neben einander liegender selbständiger Wölbzonen, deren Tiefe gleich der Dicke eines Backsteines, deren Axe mit der Gewölbaxe zusammenfällt und deren Leitlinie sich mit der Leitlinie des Kappengewölbes deckt. Die Lagerfugenflächen der ungeraden Anzahl symmetrisch zum Schlufssteine der Zone geordneten Wölbsteine stehen senkrecht zur Stirn und zur Laibungsfläche dieses dünnen Wölbstreifens.

188.
Mörtel.

Bei den an und für sich nicht sehr starken und ausserdem immerhin flachen Kappengewölben, gleichgiltig welcher Verband dabei Verwendung findet, ist die innige Verkittung der einzelnen Wölbsteine, bzw. der einzelnen Wölbscharen und Wölbzonen durch guten und möglichst schnell bindenden Mörtel für einen dauernden Bestand des Gewölbes von hervorragender Bedeutung, und zwar selbst dann, wenn die statischen Untersuchungen den Gleichgewichtszustand desselben als gesichert nachweisen. Bei einem mangelhaften Verbinden der Wölbsteine durch Mörtel oder bei Verwendung eines minder guten Bindemittels werden leicht durch oft nur geringfügige, einseitig das Gewölbe treffende Belastungen Verdrückungen und Formveränderungen zum Nachtheile des ganzen Gewölbes oder einzelner Stücke desselben veranlaßt.

Als Regel muß gelten, daß neben der Beobachtung eines richtigen Verbandes der Wölbsteine vor allen Dingen eine gediegene Vereinigung derselben durch vorzüglichen, schnell bindenden Mörtel zu einer zusammenhängenden Masse zu erzielen ist. Vielfach empfiehlt sich die Benutzung von Cementmörtel allein oder von verlängertem Cementmörtel, wovon bereits in Art. 150 (S. 159) die Rede gewesen ist.

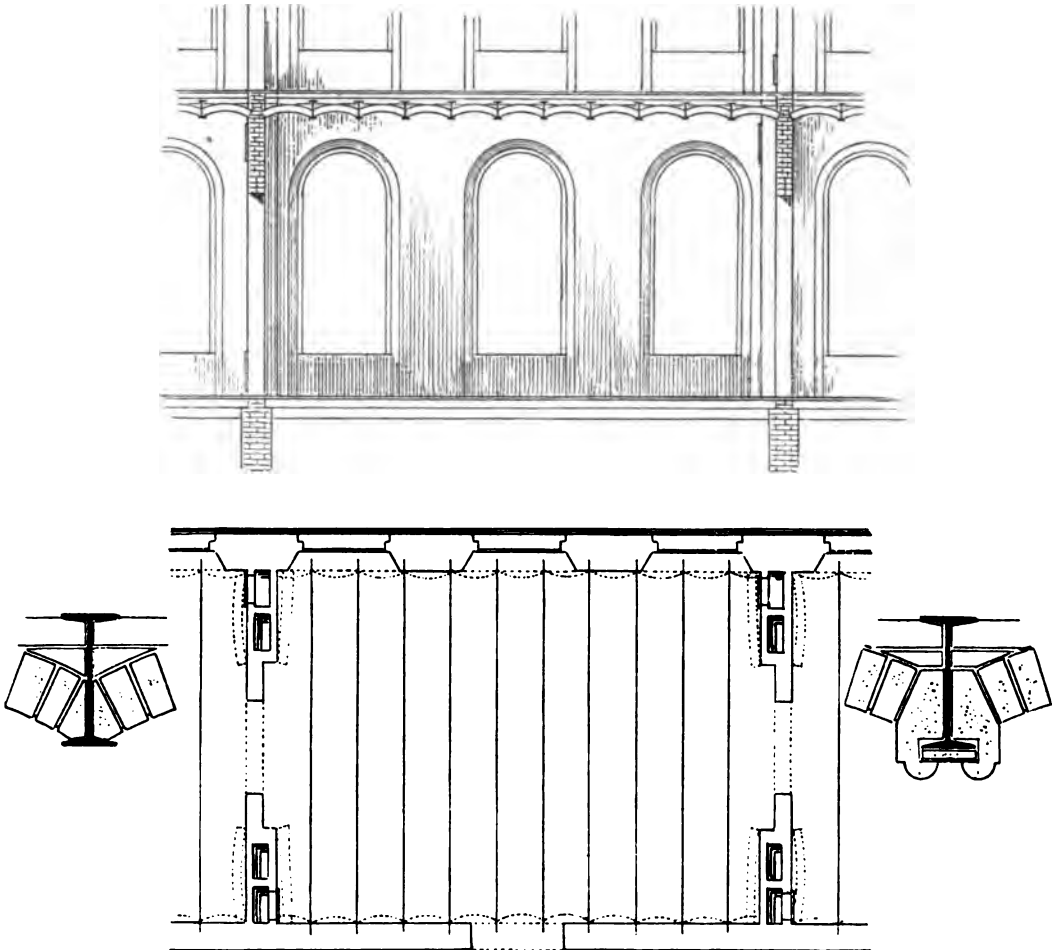
Hinsichtlich der Zeit der Ausführung der Kappengewölbe gilt das in Art. 151 (S. 219) Gesagte gleichfalls.

189.
Rüftungen.

Die Rüftungen, auf welchen das Einwölben der Kappengewölbe vorgenommen wird, sind äusserst einfach. Sie bestehen wesentlich nur aus entsprechend unterstützten, aus 30 bis 35 mm starken Bohlen angefertigten Wölbscheiben, welche in Entfernungen von 1,0 m bis 1,3 m aufgestellt, durch Holzkeile unterlagert sind und mit einer Bretter-schalung von 30 bis 35 mm Stärke versehen werden. Bei der Besprechung der gesamnten Anlage und Ausführung eines Kappengewölbes wird noch eine nähere Beschreibung dieser Lehrbogen u. f. w. gegeben werden. Bei sehr langen Kappengewölben oder auch bei zwei ziemlich nahe über einander liegenden derartigen Gewölben, wie dieselben etwa bei Heizungs- oder Lüftungs-Canälen vorkommen, benutzt man vortheilhaft statt der eingeschalteten Lehrbogen die früher schon in Art. 160 (S. 230) erwähnten Rutschbogen.

Die Einwölbung der Kappengewölbe ist unter Beobachtung der in Art. 149 (S. 218) für Tonnengewölbe gegebenen Vorschriften im Allgemeinen in gleicher Weise vorzunehmen. Auf eine sorgfältige Ausmauerung der Gewölbezwickel oder eine gute Ausfüllung derselben mit Beton ist besonders Bedacht zu lenken. Auch für die Zeit der Ausrüstung gilt hier vollständig das in Art. 158 (S. 228) Gefagte.

Fig. 373.



Für die Spannweite der Kappengewölbe sind mäßige Abmessungen bedingt. Dieselben bewegen sich in Weiten von 0,5 bis höchstens 5,0 m. Beim Ueberschreiten der Spannweite von 5,0 m geht der Nutzen, welchen sonst die flachen Kappengewölbe wegen ihrer geringen Constructionshöhe zu bieten vermögen, mehr oder weniger verloren.

Im Allgemeinen ist für Kappengewölbe durchschnittlich eine Spannweite von 2,5 bis 3,5 m üblich, welche ab und an auf 4,0 m gesteigert werden kann.

Bei Räumen, deren Breite diesen durchschnittlich gegebenen Spannweiten entspricht, welche aber sonst eine beliebige Länge aufweisen, kann zur Bildung der Decke ein einziger Gewölbezug als Kappengewölbe dienen.

Häufig und nicht ohne Vortheil für die Sicherheit des Gewölbekörpers werden

aber auch Räume von mehr oder minder großer Länge und einer Breite, entsprechend der Durchschnittsweite der Kappen, mit neben einander liegenden schmalen Kappengewölben überdeckt, deren Gewölbaxen rechtwinkelig zu den Längsmauern des Raumes gerichtet sind. Bei dieser Gliederung der Decke (Fig. 373) stützen sich die einzelnen Gewölbjoche gemeinschaftlich gegen einen eisernen Walzträger in I-Form, dessen Endauflager in den Längsmauern geboten wird, während sich die erste und letzte Kappe gegen die seitlichen kurzen Umfangsmauern legen. Eine derartige Trägerlage mit dazwischen gespannten Kappengewölben kann auch selbst noch für Räume von einer Breite bis zu 8,0 m in Anwendung kommen, wenn man nur dafür sorgt, daß die einzelnen Kappen, um den Querschnitt der einzelnen Träger und damit das Gewicht derselben nicht zu bedeutend, so wie ferner die Kosten dafür nicht zu erheblich zu gestalten, eine nur geringe Spannweite von etwa 0,8 bis 1,0 m erhalten.

Mit dieser Anordnung von Einzelträgern über 8,0 m freie Stützweite hinaus zu gehen, ist nicht rathlich, da alsdann bei größeren Trägerlängen den Kosten derselben ein Ueberpreis zugeschlagen wird.

Statt solcher Walzeisenträger Eisenbahnschienen, namentlich wenn dieselben schon im Betriebe gewesen sind, zu verwenden, ist durchaus nicht zu empfehlen, einmal weil die Eisenbahnschienen für den Ansatz der Widerlagssteine keinen günstigen Querschnitt besitzen, und sodann weil bei den schon gebrauchten Schienen Fehler vorkommen können, die nicht immer ohne Weiteres erkennbar sind, welche aber die Tragfähigkeit dieser Schienen höchst unsicher machen.

Ueber die Auswölbung der Trägerfache sind in Kap. 4 (unter a) bereits eingehende Mittheilungen gemacht worden, wobei auch über zweckmäßige Trägerformen das Nöthige gesagt ist.

Bei größeren Breiten- und Längenabmessungen von Räumen sind, wenn ausschließlich Stein-Constructions auftreten sollen, die besonderen Gewölbjoche gegen Widerlagskörper zu führen, welche parallel mit den Längsmauern oder je nach der beabsichtigten Raumbenutzung parallel mit den eigentlichen Stirnmauern des Raumes als selbständige Baukörper eingefügt werden und somit nicht allein eine Deckentheilung, sondern auch eine Raumzerlegung veranlassen. Hierdurch soll aber, abgesehen von etwa anzulegenden Längs- oder Querscheidemauern, eine Raumbeengung so weit als möglich vermieden werden.

192.
Gurtbogen.

Eine derartigen Anforderungen entsprechende Construction besteht in der Anlage von Bogenstellungen oder von sog. Gurtbogen. Diese Gurtbogen sind schmale Tonnengewölbe, bezw. Flachbogengewölbe, welche sich gegen einen gemeinschaftlichen Pfeiler, Gurtbogenpfeiler genannt, stützen und an ihrem Vor- und Rückhaupt die Widerlagsflächen als »Falze« für die antretenden Kämpfer der aufzunehmenden beiden seitlich gelegenen Gewölbjoche oder Kappen enthalten.

Die Wölblinie der Gurtbogen kann als Halbkreis, gedrückte oder überhöhte Ellipse, gedrückter oder überhöhter Korbogen oder sehr zweckmäßig als Parabel gewählt werden.

Wird ein Flachbogen als Wölblinie genommen, so giebt man demselben ein Pfeilverhältniß von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, seltener von $\frac{1}{6}$, letzteres nur, wenn die Gurtbogen die Kappen allein zu tragen haben. Wohl ist aber beim Flachbogen der ihm zukommende oft nicht unbedeutende Gewölbschub zu beachten, welcher Veranlassung

geben kann, auf die Benutzung desselben als Wölblinie für die Gurtbogen bei gewissen Verhältnissen zu verzichten. Die Spannweite der Gurtbogen wird zweckmäfsig etwa zu 4,0 m genommen.

Die Breite oder Tiefe derselben beträgt gewöhnlich $1\frac{1}{2}$ bis 2 Steinlängen. Gurtbogen nur 1 Stein breit zu nehmen ist verwerflich, weil dieselben durch den an tretenden Gewölbschub bei ungleicher Belastung der von ihnen getragenen Kappengewölbe leicht verdreht werden können und weil dieselben durch das eingeschnittene Widerlager für die Kappen zu sehr geschwächt werden.

Müssen Gurtbogen aufer ihrer Hauptaufgabe, die Kappengewölbe zu stützen, noch als Tragbogen für Scheidemauern der darüber befindlichen Obergeschosse eines Bauwerkes dienen, so wird ihre Breite schon hiervon abhängig und oft bedeutender als 2 Steinlängen.

Die Stärke der Gurtbogen ist nach ihrer Belastung zu bestimmen. Haben dieselben nur die beiden zusammengehörigen Gewölbe zu tragen, so kommt, wenn diese Gewölbe gleiche Spannweite und gleiche Ueberlast aufweisen, für jeden Gurtbogen aufer seinem Eigengewicht offenbar noch das Gewicht eines Gewölbes von einer Länge gleich der Länge des Gurtbogens in Betracht. Die von den Kappengewölben herrührenden Kämpferdrücke besitzen wagrechte Seitenkräfte, die Gewölbschübe, welche unter der gemachten Voraussetzung von gleicher Gröfse und gegen einander gerichtet sind, also sich aufheben. Ruhen noch auferdem Obermauern mit den von ihnen gestützten Balkenlagen u. f. f. auf den Gurtbogen, so ist unter Berücksichtigung der hieraus entspringenden Belastungen die Stärke derselben zu ermitteln. Die Stabilitätsuntersuchung ist entsprechend dem in Art. 143 (S. 197) Gefagten zu führen, wobei, falls ein Gurtbogen etwa auch noch durch Einzelgewichte belastet würde, auf die Ausführungen in Art. 144 (S. 205) Rücksicht zu nehmen ist. Für die gewöhnlichen Fälle wird die Stärke der Gurtbogen zu $1\frac{1}{2}$ bis 2, bzw. $2\frac{1}{2}$ Steinlängen gewählt.

Sind die Gurtbogen als ein einzelner Bogen oder als Bogenstellung parallel mit der schmalen Seite des Raumes anzulegen, so sind bei gröfserer Länge des Raumes in Entfernungen von 2,5 bis 3,5 m und unter besonderen Verhältnissen bis höchstens etwa 4,0 m parallel gestellte Gurtbogenzüge auszuführen. Zweckmäfsig erhalten dieselben an den Umfangsmauern oder Scheidemauern, welche nun als Widerlager für die an tretenden Gurtbogen mit dienen müssen, noch besondere Wandpfeiler, sog. Vorlagen, um nicht von vornherein jenen den Raum begrenzenden Mauern ihrer ganzen Länge nach eine solche Stärke geben zu müssen, wie solche der Gewölbschub der angelegten Gurtbogen erforderlich macht.

In der Bildung dieser Vorlagen liegt ein wesentlicher Nutzen für die Bemessung der Stärke der Umfangsmauern des mit Kappengewölben zu überdeckenden Raumes, da, sobald diese Mauern thunlichst von der Stärke des Mauerkörpers, welcher als Widerlager für die Gurtbogen vorhanden sein mufs, zwischen den Gurtbogenfeldern befreit sind, für diese Baukörper eine wesentlich geringere Stärke genommen werden kann.

In Fig. 374 ist die Anlage von Kappengewölben mit sog. vorgezogenen Gurtbogen dargestellt. Die zwischen den vorspringenden Vorlagen der Gurtbogen vorhandenen Umfangsmauern treten nur als Schildmauern der Kappengewölbe auf, können also, namentlich wenn die Kappen auf Kuf oder nach dem *Moller'schen* Verbands eingewölbt sind, eine nur mäfsige Stärke erhalten und durch Licht- oder

193.
Vorlagen.

Thüröffnungen in ausgiebigster Weise geöffnet behandelt werden.

Selbstverständlich ist die Theilung für die Gurtbogen der Axenlage des Raumes, bezw. des ganzen Bauwerkes entsprechend zu nehmen.

Dafs unter Umständen, wie auch in Fig. 374 angedeutet ist, die Vorlagen der Gurtbogen, selbst bei genügend weitem Vorsprunge und bei geeignet gewählter Wölblinie der Gurtbogen, mit Oeffnungen versehen werden können, ist für die Benutzung des

Raumes nicht ohne Bedeutung. In derartigen Fällen empfiehlt sich in erster Reihe die Verwendung einer Parabel, deren Pfeilhöhe gleich oder gröfser als ihre halbe Spannweite ist, als Wölblinie für die Gurtbogen, weil hierbei der Kämpferdruck derselben in günstiger Weise nach ihrem unmittelbar unter dem Fußboden des Raumes befindlichen Widerlagsmauerwerk geleitet wird. Bei Flachbogen liegt der Kämpferdruck höher, wirkt also ungünstiger auf die Vorlagen ein. Bei einem Halbkreise, einem elliptischen Bogen oder einem Korbbogen wird die Beanspruchung des Wölbmaterials im Allgemeinen ebenfalls ungünstiger, als beim Parabelbogen mit dem bereits angegebenen Pfeilverhältnisse.

Sind aus bestimmten Gründen, wie z. B. bei Kellern, die Umfangsmauern der mit Kappengewölben zu überdeckenden Räume an und für sich schon in so

bedeutender Stärke auszuführen, dafs dieselben durch den Gewölbschub der Gurtbogen nicht in ihrer Stabilität geschädigt werden, so können die Gurtbogen, ohne mit Vorlagen versehen zu sein, aus den Umfangsmauern hervorstechen. Dann ist auch die vorhin angedeutete Vorsicht hinsichtlich der Wahl der Wölblinie für die Gurtbogen von geringerer Bedeutung. In Fig. 375 ist für einen derartigen Gurtbogenansatz ein Halbkreis- und ein Parabelbogen als Wölblinie angenommen, für welche die innere lothrechte Begrenzungslinie der Seitenmauer als Berührungslinie in den Berührungspunkten *a*, bezw. *d* auftritt. Bei solchen Anlagen sind die Anfänger der Gurtbogen immer gleich bei der Aufmauerung des Mauerwerkes der Umfangsmauern wie bei *ac*, bezw. bei *def* in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei ist ein regelrechter

Fig. 374.

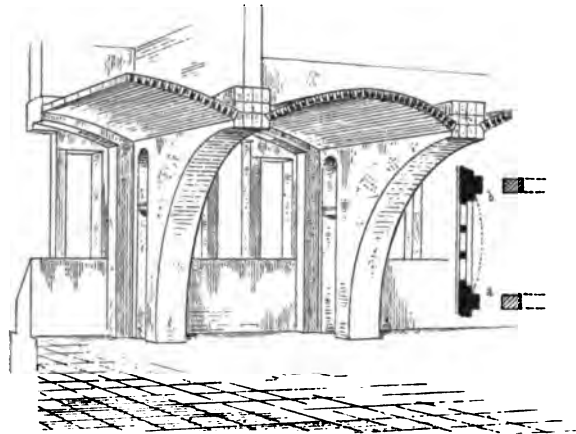
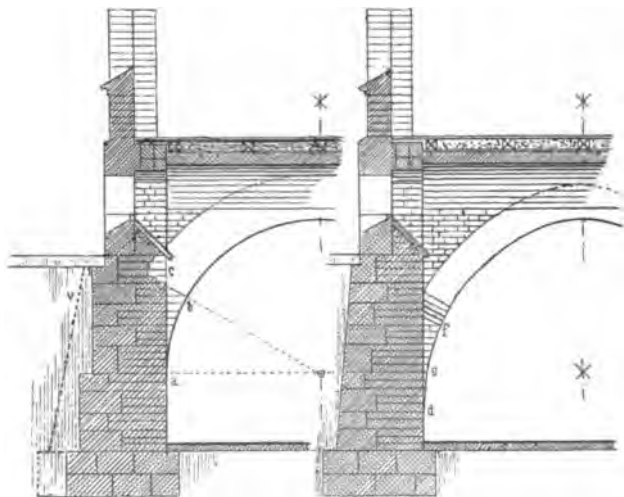


Fig. 375.



zungsline der Seitenmauer als Berührungslinie in den Berührungspunkten *a*, bezw. *d* auftritt. Bei solchen Anlagen sind die Anfänger der Gurtbogen immer gleich bei der Aufmauerung des Mauerwerkes der Umfangsmauern wie bei *ac*, bezw. bei *def* in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei ist ein regelrechter

Verband dieser Anfänger mit dem eigentlichen Mauerkörper unter Verwendung eines tadellosen Mörtels, zweckmäfsig des verlängerten Cementmörtels, innezuhalten.

Im Allgemeinen beträgt bei den gewöhnlichen Anlagen die Stärke der Widerlager der Gurtbogen, je nach ihrer Belastung, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{5}$ ihrer Spannweite.

Hier möge noch bemerkt werden, dafs für stark belastete Gurtbogen mit einem Halbkreise als Wölblinie bei unzureichender Stärke der Umfangsmauer der Kellergefchoffe auch die nöthige Widerlagsstärke für die Gurtbogen durch nach ausen vorgelegte Strebepfeiler *v*, deren Breite der Tiefe der Gurtbogen mindestens gleich wird, zu schaffen ist, eine Anordnung, welche bei der Parabel als Wölblinie feltener nöthig wird.

^{194.}
Strebepfeiler.

Ist für Gurtbogen in besonderen Fällen ein kräftiges Widerlager durch Vorlagen, bzw. durch Strebepfeiler hinter den Umfangsmauern nicht zu schaffen, erscheinen auch die Umfangsmauern, gegen welche sich die Gurtbogen legen, hinsichtlich ihrer Stärke nicht genügend sicher, so hat man seine Zuflucht zu Verankerungen der Gurtbogen zu nehmen. Hierbei ist aber stets die grösste Vorsicht geboten. Namentlich sind die Zuganker dann so tief zu legen, dafs dieselben durch die Kämpfer der Gurtbogen gehen, um hierdurch den Gewölbschub derselben möglichst vollständig abzufangen. Ausserdem sind reichlich grofs bemessene Ankerplatten zu verwenden. Im Uebrigen kann in dieser Beziehung auf das in Art. 178 (S. 268) Vorgetragene hingewiesen werden.

^{195.}
Verankerungen.

Bedingt eine Grundrißbildung das Durchkreuzen von zwei Gurtbogen, bzw. Gurtbogenzügen, so darf ein kreuzender Gurtbogen niemals sein Widerlager an den Häuptern des anderen Gurtbogens finden. Vielmehr müssen diese Gurtbogen eine gemeinschaftliche Fußfläche und einen gemeinschaftlichen Stützkörper erhalten.

^{196.}
Kreuzung
von
Gurtbogen.

Der an den Häuptern der Gurtbogen einzufügende Falz für das Widerlager der Kappengewölbe folgt in seiner unteren Begrenzungslinie genau der Kämpferlinie der Kappengewölbe. Dieselbe soll für alle Kappengewölbe zwischen Gurtbogen bei einer und derselben Raumdecke in einer wagrechten Ebene liegen, damit eine möglichst günstige Beanspruchung der Gurtbogen durch den Schub der Kappen eintritt. Ausserdem sollen die Spannweiten und Pfeilverhältnisse für die Kappengewölbe zwischen den Gurtbogen thunlichst gleich sein, weil bei grösserer Abweichung in diesen Abmessungen der benachbarten Kappen der Gurtbogen eben so ungünstig beansprucht wird, wie das im Art. 147 (S. 213) besprochene gemeinschaftliche Widerlager von zwei Tonnengewölben mit verschiedener Spannweite. Die Kämpferlinie der Kappengewölbe liegt mindestens 10 cm, besser 12 cm über dem Scheitel des Gurtbogens, da bei einer tieferen Lage derselben leicht ein Abdrücken der Scheitelsteine des Bogens unterhalb des Falzes möglich wird.

^{197.}
Falze.

Die schräg aufsteigende Fläche des Falzes richtet sich in ihrer Neigung nach der Richtung der Kämpferfuge der Kappengewölbe.

Da die Stärke des Gurtbogens in den meisten Fällen nicht so grofs ist, dafs das Widerlager der Kappen, also auch der Falz hierfür in der ganzen Stirnfläche der Gurtbogen verbleiben kann, so mufs eine sorgfame Ausmauerung der Zwickel der Gurtbogen oberhalb der Rückenfläche derselben, wie auch aus Fig. 375 zu ersehen ist, stattfinden. Diese Ausmauerung nimmt dann die Fortsetzung des Falzes mit auf.

Der gesammte an beiden Hauptflächen des Gurtbogens vorkommende Falz wird in der Regel gleich bei der Wölbung des Bogens durch entsprechend zu-

gehauene Wölbsteine mit ausgeführt. Soll dagegen der Falz später eingehauen werden, so muß diese Arbeit erst nach möglichst vollständigem Abbinden und Erhärten der Mörtelbänder des Bogens vorgenommen werden. Eben so ist die Einwölbung der Kappen zwischen den Gurtbogen erst dann zweckmäÙig in Angriff zu nehmen, sobald die Gurtbogen kräftig im Mörtel abgebunden sind.

Müssen die Gurtbogen parallel mit der Längsmauer des Raumes angelegt werden, so gilt dasselbe, was vorhin über die parallel zur schmalen Seite des Raumes gestellten Gurtbogen mitgeteilt ist.

198.
Kappengewölbe
mit
ungleicher
Spannweite.

Kann die erwähnte günstige Beanspruchung der Gurtbogen bei einer ungleichen Spannweite der von einem gemeinschaftlichen Gurtbogen aufzunehmenden Kappengewölbe bei gegebenen besonderen Verhältnissen eine Beeinflussung erfahren, welche nachtheilig für den Gurtbogen werden müßte, so darf, um diese Einflüsse thunlichst zu beseitigen, das Feststellen der zweckmäÙigen Pfeilhöhen der beiden verschieden weit gespannten Kappen nicht unterlassen werden. In dieser Beziehung begegnet man in der Praxis des Hochbauwesens bei derartigen Anlagen von Kappengewölben noch manchen Willkürlichkeiten, die einzufchränken sind.

In Fig. 376 sei *I* ein halbes Kappengewölbe mit der Spannweite $2s$, der Pfeilhöhe f , der Wölbstärke d und der auf Wölbmaterial zurückgeführten, oben wagrecht abgeglichenen Ueberlast von der Höhe h . Die GröÙe

des möglichst kleinsten Gewölbschubes H ist nach Gleichung 179 (S. 264) mit

$$H = \frac{s^2}{12(f+d)} [6(d+h) + f]$$

zu berechnen.

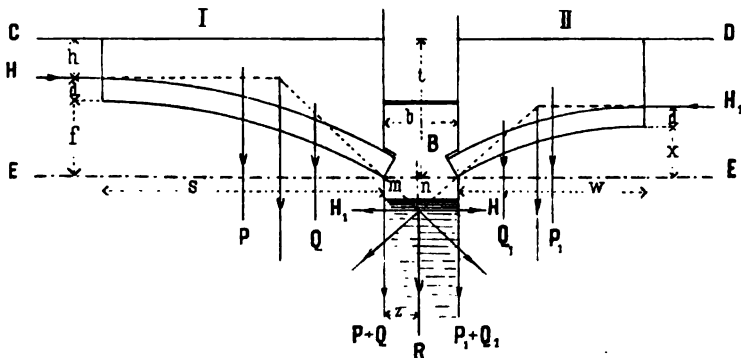
Tritt mit diesem Gewölbe das zur Hälfte gezeichnete Kappengewölbe *II* mit der Spannweite $2w$ an einen gemeinschaftlichen Gurtbogen *B*, so ist zunächst zu beachten, daß die Kämpferlinien beider Gewölbe in einer und derselben wagrechten Ebene liegen, daß sodann, den Anforderungen des Hochbauwesens meistens entsprechend, die Gewölbe eine gleiche Stärke erhalten und so übermauert oder mit Beton, bezw. Sandschüttung überlagert werden, daß der Fußboden, bezw. die obere Abgrenzung der Gewölbe wiederum in eine und dieselbe wagrechte Ebene gelangt.

Sind nun beide Gewölbe noch außerdem mit einer gleich groÙen Nutzlast für 1 qm Grundriffsfläche behaftet, so liegt auch die obere Grenzlinie der Belastungsflächen derselben in einer wagrechten Ebene *CD*. Die lothrechte Entfernung dieser Ebene von der Kämpferebene *EE* ist

$$t = f + d + h \dots \dots \dots 216.$$

Die Tiefe beider Gewölbe sei gleich der Längeneinheit. Ist ferner x die Pfeilhöhe des Gewölbes *II* und H_1 der möglichst kleinste Gewölbschub desselben, so wird

Fig. 376.



nach den Bezeichnungen in Fig. 376 und in Rücksicht auf das in Art. 138 (S. 190) Gefagte

$$H_1 = \frac{P_1 \frac{w}{2} + Q_1 \frac{w}{4}}{d + x}.$$

Da

$$P_1 = (t - x) w \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3} w x \quad 217.$$

ist, so wird hiernach

$$H_1 = \frac{(t - x) \frac{w^2}{2} + \frac{w^2 x}{12}}{d + x}$$

und nunmehr hieraus

$$x = \frac{6(tw^2 - 2H_1d)}{12H_1 + 5w^2} \quad 218.$$

gefunden.

Da der Gurtbogen durch die Kämpferdrücke der beiden Gewölbe im Allgemeinen am günstigsten in Mitleidenschaft gezogen wird, wenn die wagrechten, in der Kämpferebene EE liegenden Seitenkräfte H und H_1 sich das Gleichgewicht halten, so daß neben dem Eigengewicht und der Belastung des Gurtbogens von den Kappengewölben nur die lothrecht wirkenden Seitenkräfte

$$R = P + Q + P_1 + Q_1 \quad 219.$$

der Kämpferdrücke für denselben in Betracht zu ziehen sind, so folgt, daß $H_1 = H$ zu setzen und danach

$$x = \frac{6(tw^2 - 2Hd)}{12H + 5w^2} \quad 220.$$

zu berechnen ist.

In diesem Ausdrucke hat H den nach Gleichung 179 ermittelten Werth. Setzt man also die Gestaltung des Gewölbes I fest, so ist bei gegebener Spannweite des Gewölbes II die Pfeilhöhe x in die durch Gleichung 220 ausgesprochene Abhängigkeit vom Gewölbe I zu bringen, so daß jede Willkür ausgeschlossen ist.

Um die Lage der Mittelkraft R der lothrechten Seitenkräfte der von beiden Gewölben hervorgerufenen Kämpferdrücke zu finden, kann man, wenn die Breite b des Gurtbogens gegeben ist, den Abstand $m n = s$ dieser Kraft R von dem Kämpferpunkte m unter Berücksichtigung von Fig. 376 leicht bestimmen. Man erhält durch $R s = (P_1 + Q_1) b$ den Ausdruck, woraus

$$s = \frac{(P_1 + Q_1) b}{R} \quad 221.$$

wird. In der Größe R sind nach Gleichung 219 auch die Werthe von P und Q mit enthalten. Dieselben ergeben sich nach den Gleichungen 154 u. 155 (S. 191), während P_1 und Q_1 nach Gleichung 217 in Verbindung mit dem aus Gleichung 220 zu berechnenden Werthe von x zu bestimmen sind.

Würden die Gewölbkappen sich statt gegen einen Gurtbogen gegen einen gemeinschaftlichen Walzeisensträger legen, so wird an der geführten Untersuchung nichts geändert.

Beispiel. Es sei $2s = 4$ m, also $s = 2$ m, $f = 0,5$ m oder $= \frac{1}{8}$ der Spannweite, $d = 0,25$ m und $h = 0,18$ m, d. h. einer Nutzlast von etwa 280 kg für 1 qm Grundriffsfläche entsprechend. Die Spannweite $2w$ des Nachbargewölbes sei 3 m, also $w = 1,5$ m; die Gewölbstärke d sei auch hier 0,25 m.

Man erhält nach Gleichung 179 (S. 264)

$$H = \frac{2^2}{12 (0,5 + 0,25)} [6 (0,25 + 0,18) + 0,5] = 1,37 \text{ qm.}$$

Nach der Tabelle in Art. 143 (S. 202) könnte für die Gewölbstärke gleich 1 Stein = 0,25 m der Normaldruck $N = 2,41 \text{ qm}$ betragen, während H dort nur = 0,37 qm ist.

Aus den in Art. 180 (S. 273) angegebenen Gründen kann aber für das untersuchte Gewölbe die Stärke von 0,25 m beibehalten werden.

Nach Gleichung 216 wird

$$t = 0,5 + 0,25 + 0,18 = 0,93 \text{ m}$$

und nunmehr nach Gleichung 220

$$x = \frac{6 (0,93 \cdot 1,5^2 - 2 \cdot 1,37 \cdot 0,25)}{12 \cdot 1,37 + 5 \cdot 1,5^2} = 0,305 \text{ m}$$

als gefuchte Pfeilhöhe des Gewölbes mit der Spannweite $2w = 3 \text{ m}$. Danach ist also das Pfeilverhältniß dieses Gewölbes nicht auch gleich $\frac{1}{8}$, wie beim größeren Gewölbe, sondern nur $\frac{0,305}{3} = \text{rund } \frac{1}{10}$ zu nehmen.

Derartige Ergebnisse sind in der Praxis bei der Ausführung von Kappengewölben stützlich zu beachten. Nachdem x berechnet ist, läßt sich s nach Gleichung 221 finden. Zuvor ist nach den Gleichungen 217 u. 220:

$$P_1 = (0,93 - 0,305) 1,5 = 0,938 \text{ qm} \text{ und } Q_1 = \frac{1}{3} \cdot 1,5 \cdot 0,305 = 0,153 \text{ qm.}$$

Außerdem ergibt sich nach Gleichung 154: $P = (0,25 + 0,18) 2 = 0,86 \text{ qm}$

und endlich nach Gleichung 155: $Q = \frac{1}{3} \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,333 \text{ qm.}$

Nach Gleichung 219 ist demnach R gleich der Summe dieser Gewichte, also gleich 2,304 qm, so daß zuletzt nach Gleichung 221

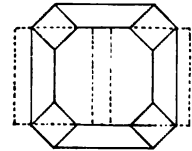
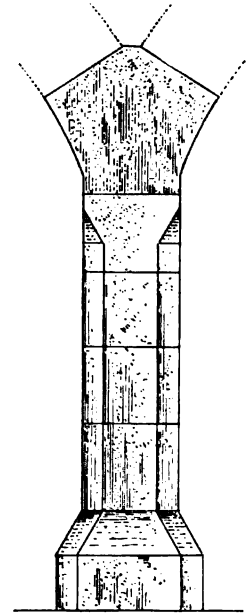
$$z = \frac{(0,938 + 0,153) b}{2,304} = \frac{1,091 b}{2,304} = 0,473 b$$

wird. Hiernach liegt die lothrechte Kraft R der Kämpferdrücke in nicht sehr bedeutendem Abstände von der lothrechten Mittellinie des Gurtbogens. Das Gewicht, bezw. die sachgemäße Uebermauerung desselben wird eine lothrechte Kraft erzeugen, welche, mit R zu einer neuen Mittelkraft vereinigt, diese bis nahezu in die lothrechte Mittellinie des Gurtbogenquerschnittes legt, oder falls die Uebermauerung des Gurtbogens entsprechend vorgenommen wird, schliesslich die zuletzt erwähnte Mittelkraft selbst durch jene Mittellinie bringt.

Derartige Vortheile für die Construction sind also ohne große Mühe zu schaffen.

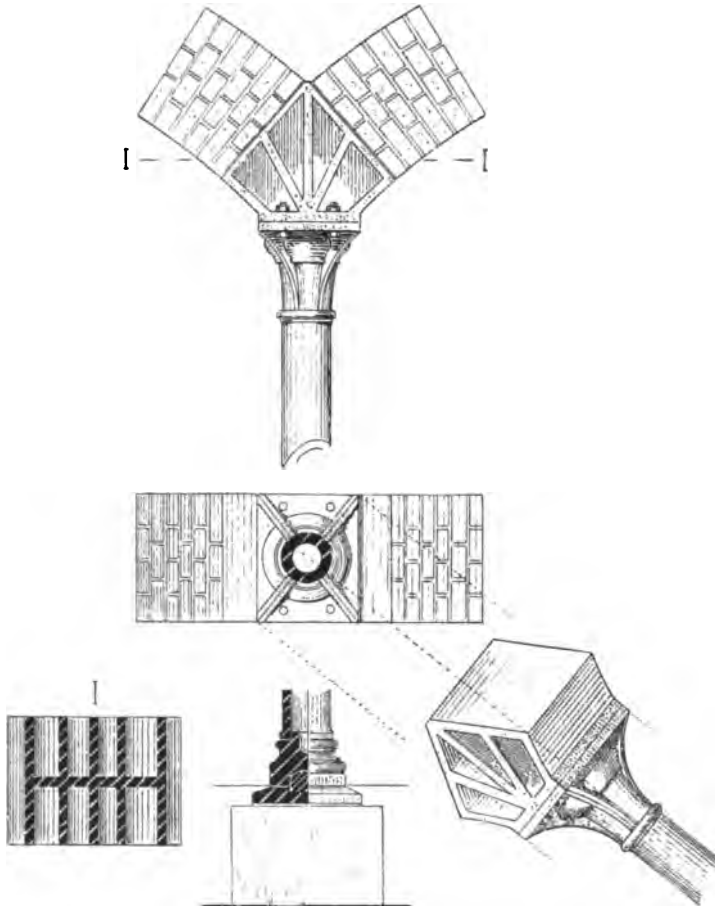
Sind zwei oder mehrere Gurtbogen als Bogenstellungen anzuordnen, so erhalten je zwei derselben einen gemeinschaftlichen Zwischenpfeiler, den sog. Gurtbogenpfeiler, als Stütze und am Kopfe desselben ihr zusammengehöriges Widerlager. Die Breite dieser Pfeiler wird, wenn dieselben aus Mauerwerk bestehen, in der Regel gleich der Breite der Gurtbogen genommen, wenigstens niemals größer gewählt. Die Länge derselben richtet sich nach der Größe des Druckes, welcher vermöge der Gurtbogen mit Kappenbelastung oder der sonst noch auf die Gurtbogen gelangenden Gewichte in Frage kommt. Sehr selten ist jedoch die Länge dieser Pfeiler so groß, daß dieselbe gleich der wagrechten Projection der beiden Widerlagsfugen der Gurtbogen würde. Vielmehr schneiden sich die Rückenlinien der Gurtbogen über der lothrechten Axe des Pfeilers in ziemlich hoher Lage über ihren Kämpferlinien. In Folge hiervon entstehen über der Kämpferlinie besondere Bestandtheile des Gurtbogens, die sog. Gurtbogenanfänger. Werden die Pfeiler und die Anfänger aus Backstein hergestellt, so gilt genau das in Art. 137 (S. 189) über derartige Gewölbeanfänger Gefagte auch hier. Sollen die Anfänger aus Hausteinen hergerichtet werden, so

Fig. 377.



können dieselben nach Fig. 377 in den meisten Fällen aus einem einzigen, nach den Wölblinien und den Widerlagsflächen der Gurtbogen bearbeiteten Quader bestehen. Wird der Gurtbogenpfeiler aus Quadermaterial errichtet, so kann derselbe bei nicht zu großer Pfeilerhöhe aus einem Stücke bestehen oder anderenfalls in Schichten von 30 bis 50 cm Höhe ausgeführt werden. Selbstredend können statt der Gurtbogenpfeiler auch Freistützen aus Backsteinmaterial gemauert oder aus Quadern bestehend angeordnet werden, wenn nur in jedem Falle den betreffenden Stützkörpern der nöthige Querschnitt gegeben wird. Für die im Hochbauwesen auftretenden

Fig. 378.



den gewöhnlichen Belastungen beträgt die Länge der Backsteinpfeiler, gutes und festes Material vorausgesetzt, 2 Stein bis $2\frac{1}{2}$ Stein und die Länge der Quaderpfeiler bei festem Steinmaterial 40 bis 50 cm. Statt der aus Steinmaterial zu bildenden Gurtbogenpfeiler können selbstverständlich auch gusseiserne oder schmiedeeiserne Säulen (Fig. 378) als Stützen in Anwendung kommen. Diese erhalten dann einen aus Backstein oder aus Quadern angefertigten Anfänger über sich oder unter Umständen ein gusseisernes Kopfstück, welches als Gurtbogenanfänger, wie in Fig. 378, ausgebildet ist. Treten bei sich kreuzenden Gurtbogenzügen vier Gurtbogen über einer gemeinschaftlichen Freistütze zusammen, so ist der allen Gurtbogen zukommende

Anfänger, möge derselbe aus Backstein oder aus Quadern bestehen, so zu gestalten, dafs, wie Fig. 379 bei einem aus Backstein gebildeten Mauerkörper zeigt, alle vier Widerlagsflächen in entsprechender Gröfse vorhanden sind.

Für eine sorgfältig ausgeführte, vollständig sichere Fundamentirung der Gurtbogenpfeiler oder Säulen ist unter jeder Bedingung zu sorgen.

200.
Beispiel
einer gröfseren
Kappengewölbe-
anlage.

Unter Beobachtung der für die Kappengewölbe zwischen Gurtbogen in Betracht kommenden Gesichtspunkte ist auf der neben stehenden Tafel die Zeichnung einer Anlage von Kappengewölben gegeben. Im Grundrisse ist x, x ein Gurtbogenzug, welcher parallel mit der langen Umfangsmauer läuft. Die Anordnung der Gurtbogen mit ihren Vorlagen, Pfeilern und Anfängern ergibt sich aus der Darstellung derselben im Grundrisse und den Schnitten AB , bzw. CD . Im Theile I ist das Kappengewölbe als auf Kuf ausgeführt, während im Theile II die Einwölbung auf Schwalbenschwanz-Verband angenommen ist.

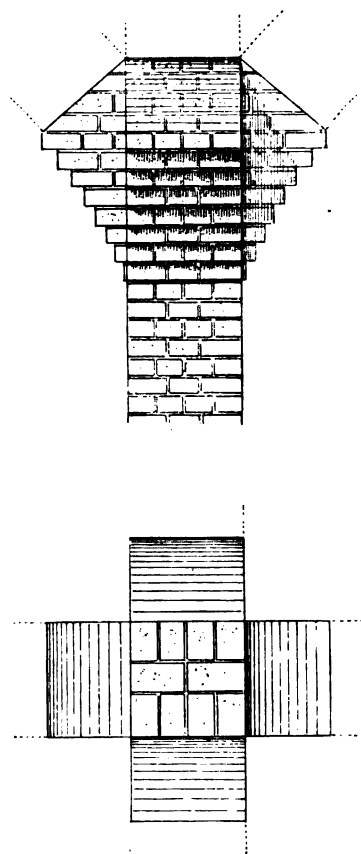
Hinsichtlich des Festlegens dieses letzteren Verbandes sei noch Folgendes angegeben. Wenn auch im Allgemeinen die Richtung der einzelnen Wölbstreifen unter einem Winkel von 45 Grad zu den Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes angenommen werden kann, so empfiehlt sich doch, um eine zweckdienliche Verspannung der Wölbstreifen mit ihren Nachbarstreifen zu erreichen, die Richtung derselben so zu nehmen, dafs dieselben in ihren wagrechten Projectionen als Schnittlinien von Ebenen mit der cylindrischen Laibungsfläche des Gewölbes sich zeigen, welche für jeden Streifen in folgender Weise ermittelt werden.

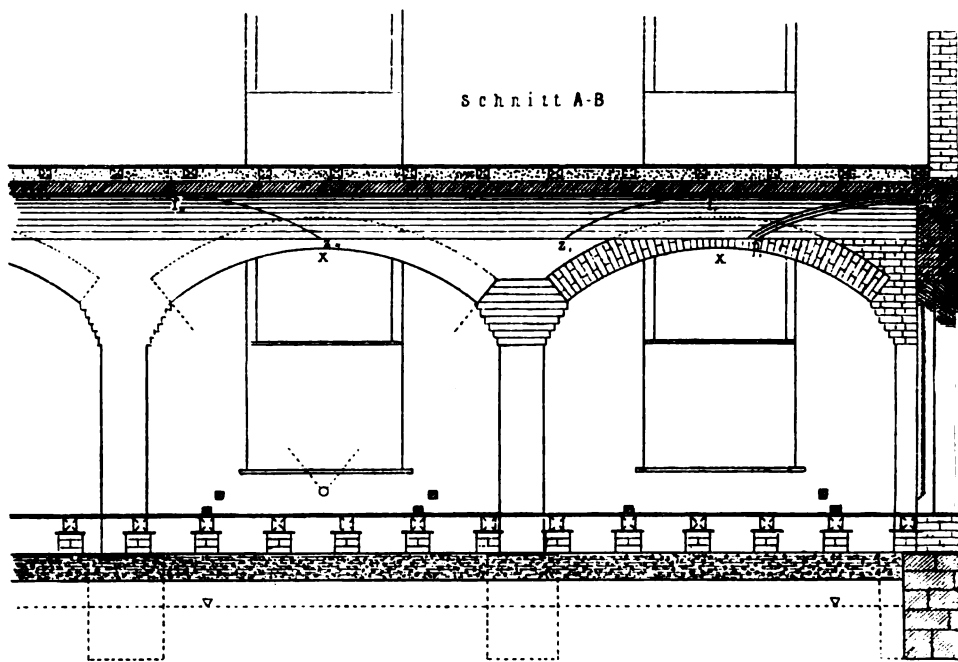
Eine lothrechte Ebene, deren Grundrissspur cf den Winkel zcm halbirt, welchen die Begrenzungen des Raumes an der Ecke c bilden, schneidet die Laibungsfläche des Gewölbes in der krummen Linie hid . Dieselbe ist nach der Wölblinie der Kappe, also hier nach dem Flachbogen ab mit der Pfeilhöhe eb in bekannter Weise bestimmt. Sie ist ein Ellipsenstück. Ermittelt man für einen beliebigen Punkt i derselben, welcher dem Punkte g des Flachbogens ab entspricht, nach den Angaben zu Fig. 254 (S. 149) die Normale nik und führt man durch dieselbe eine rechtwinkelig zur Ebene der Curve hid stehende Ebene, so schneidet diese Normalebene, gehörig erweitert, die Laibungsfläche des Gewölbes in einer krummen Linie, deren Grundrissprojection die Linie op ist.

Um die Grenzpunkte o , bzw. p zu erhalten, ist durch den Fußpunkt k der Normalen nk in der Kämpferebene cf des Ellipsenstückes cid , bzw. des Gewölbes selbst die wagrechte Spur pkm der Normalebene n gezeichnet.

Die Parallele zu pm durch den Punkt i geführt, liefert die Grundrissprojection einer wagrechten geraden Linie qil , deren Projection in der Ebene der Wölblinie ab die durch den zu i gehörigen Punkt g gezogene, mit ae parallel laufende Gerade ist. Da nun die lothrechte Projection des Punktes m auf ab in m_1 , die lothrechte Projection des Punktes i auf der entsprechend verlängerten wagrechten Geraden vg in l_1 erhalten wird, so ergibt sich in der Geraden m_1l_1 die lothrechte Spur der Normalebene in der Ebene des Flachbogens ab . Diese Spur trifft den Flachbogen ab im Punkte o_1 . Die wagrechte Projection des Flachbogens ab ist die Gerade cm ; die Grundrissprojection von o_1 ist also der auf cm gelegene Punkt o . Der Grenzpunkt p liegt, wie sofort ersichtlich, in der Kämpferebene; die lothrechte Projection desselben ist also der Punkt a . Soll noch irgend ein zwischen p und o gelegener Punkt dieser Schnittcurve in seinen Projectionen bestimmt werden, so führt man parallel mit cm an beliebiger Stelle

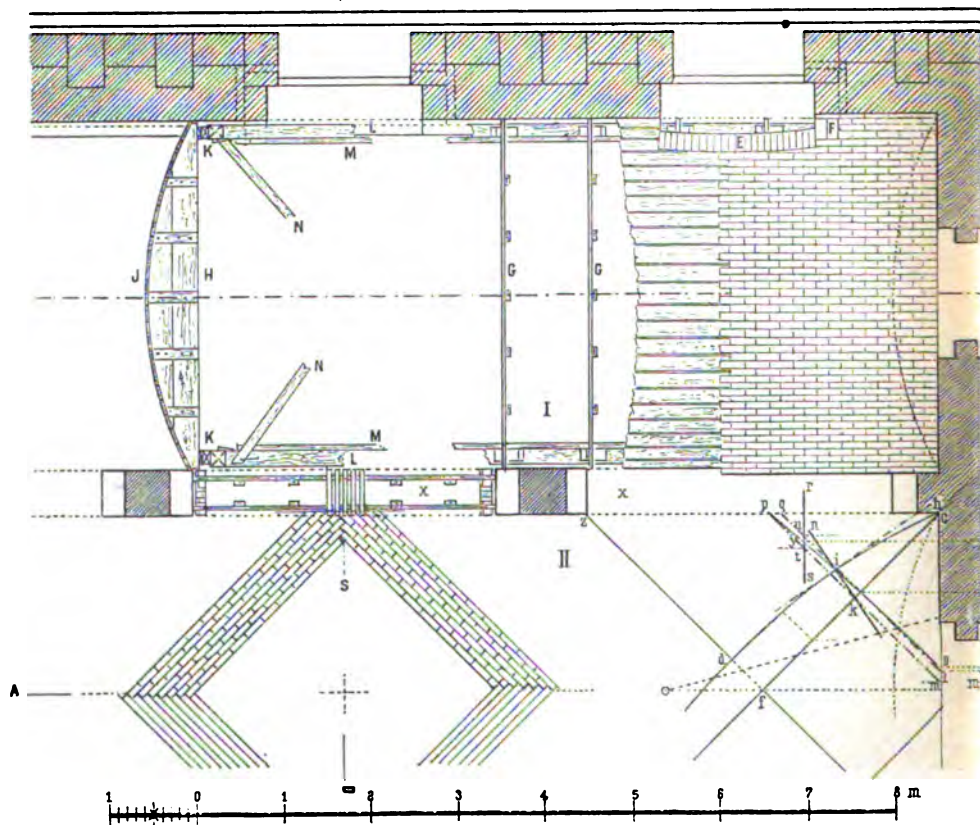
Fig. 379.



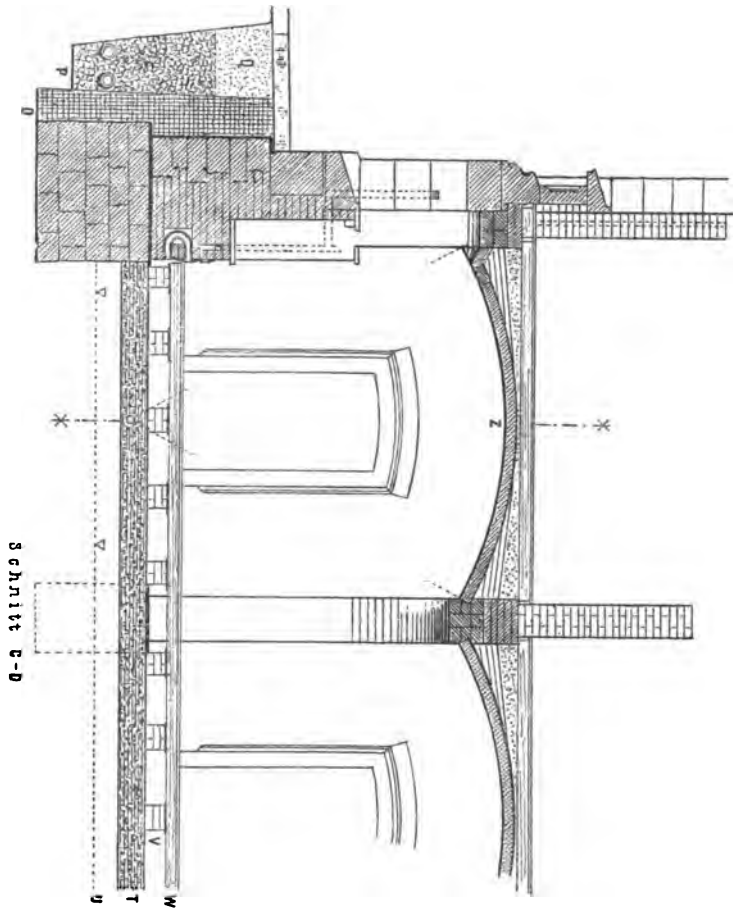
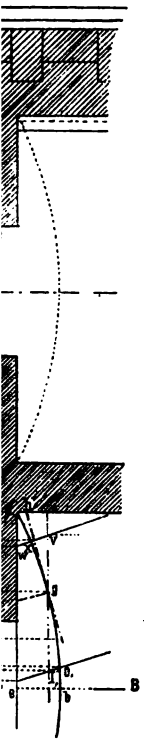


2

Grundrifs



Anlage von Kappengewölben zwischen Gurtbogen.



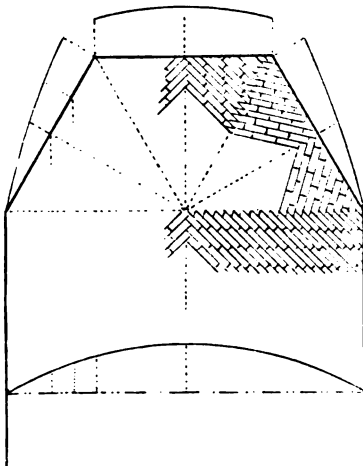
Schnitt C-D

zwischen p und o eine lothrechte Ebene, deren Spur rs sein möge. Diese Spur schneidet die vorhin gekennzeichneten Geraden pm und ql in den Punkten t und u . Die lothrechten Projectionen derselben sind offenbar w auf der Linie ae und v auf der Geraden l_1gv ; mithin würde wa die lothrechte Spur jener in rs parallel zur Ebene abc stehenden lothrechten Ebene sein und die hier befindliche, der Bogenlinie ab völlig entsprechende Wöblinie im Punkte x durchschneiden. Die wagrechte Projection von x ist der gesuchte, auf rs gelegene Zwischenpunkt y . Theilte man nunmehr die Curve cid in Wölb-schichten von der Dicke eines Backsteines ein, so könnten für jeden Theilpunkt in gleicher Weise die Normalebenen geführt und die zugehörigen Schnittlinien mit der Gewölbfläche in ihren wagrechten Projectionen aufgesucht werden.

Diese wagrechten Projectionen bilden alsdann die Begrenzungen der einzelnen neben einander liegenden Wölbstreifen, deren Lagerflächen überall in Normalebenen liegen, welche der durch die

Ebene cf allgemein erzeugten Schnittlinie mit der Gewölbfläche angehören. Wird cf parallel mit sich selbst fortgerückt, so können, selbstredend unter Benutzung der schon bestimmten Linien von den Eigenschaften der Streifenkanten po , die sämtlichen Wölbstreifen fest gelegt und in ihrem Verbande geordnet werden.

Fig. 380.

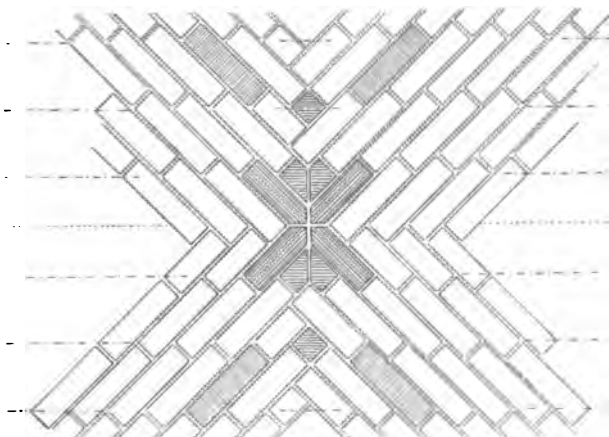


Diese unter dem Namen »Schwalbenschwanz-Verband« auftretende Wölbungsart wird von den Ecken des Raumes aus begonnen, d. h. allgemein da, wo die Stirnmauern mit den eigentlichen Widerlagsmauern zusammentreffen. Derselbe eignet sich auch, wie Fig. 380 zeigt, für die Einwölbung polygonal gefalteter Räume.

Wie aus dem Grundrisse in II auf der neben stehenden Tafel hervorgeht, treffen sich die einzelnen Wölbstreifen auf der Scheitellinie AB und der Wöblinie S in der Mitte des Gewölbes in zickzackförmigem Verbande, so daß zuletzt ein nahezu quadratischer Schlussstein übrig bleibt. Beim Zusammentreten

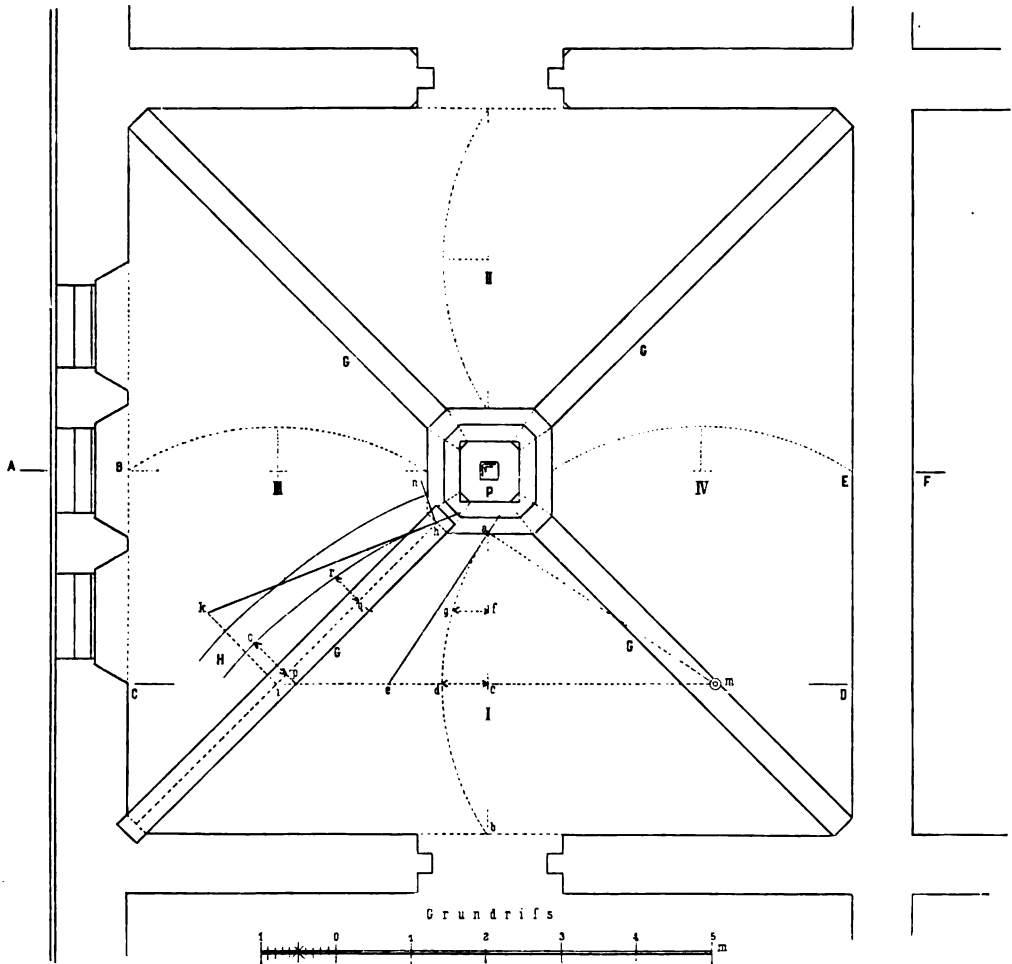
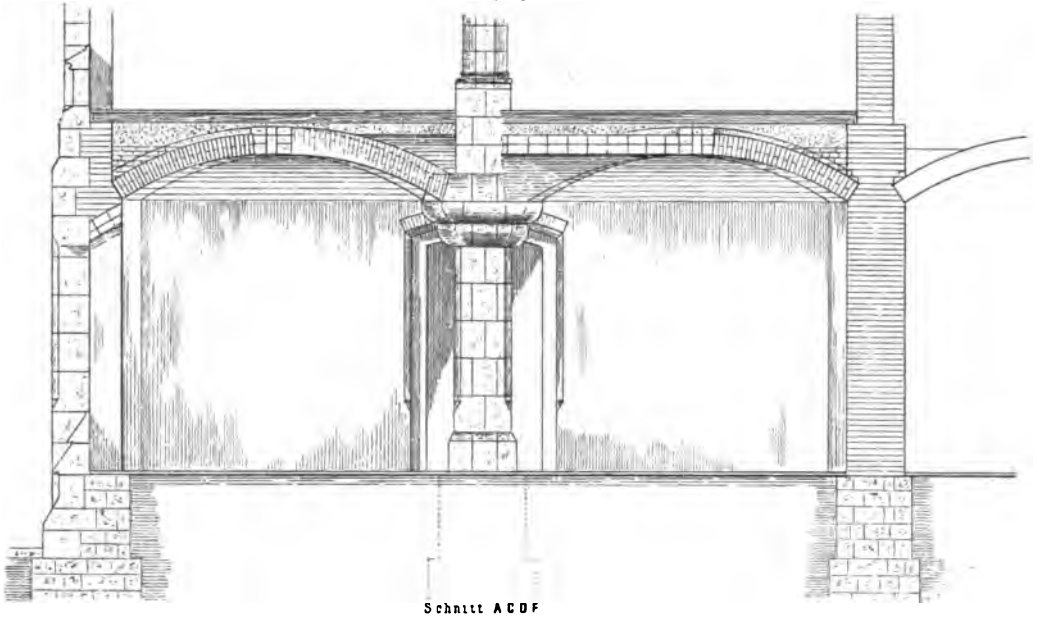
der nach entgegengesetzter Richtung verlaufenden Wölbstreifen über AB und S , dem fog. Schnäbeln der Schichten, ist auf eine sorgfältige Mauerung und Mörtelung zu achten. Da, wie bei der Stabilitäts-Untersuchung der Kappengewölbe mit diesem Verbande in Fig. 366 (S. 278) gefunden ist, sämtliche Umfangsmauern, bezw. die Gurtbogen, welche mit als Widerlager auftreten müssen, Gewölbschub aufzunehmen haben, so ist auch für die Stirnmauern ein entsprechender Widerlagsfalz für die hier antretenden Wölbstreifen vorzusehen. In der Regel wird gleich bei der Ausführung der Stirn- oder Schildmauern durch geeignete Ausparung der Anschlußfalz hergestellt.

Fig. 381.



Eine andere Anordnung des Schwalbenschwanz-Verbandes zeigt noch Fig. 381. Bei dieser Einwölbungsart, welche bei Kappengewölben benutzt werden kann, wenn ihre Laibungsflächen ohne Putzüberzug bleiben, vielmehr in farbig gestalteter Backsteinmusterung auftreten sollen, wird die Wölbung in der Mitte der Scheitellinie mit vier geschnäbelten, sich kreuzenden Steinen, deren Axen unter 45 Grad nach den Umfangsmauern gerichtet sind, be-

Fig. 382.



gonnen. Diefer Richtung folgend, sind alsdann alle übrigen Wölbstreifen in regelrechtem Verbande, auch etwa einem beabsichtigten Muster gemäß geordnet, einzufügen.

Müssen in Kappengewölben Stichkappen eingelegt werden, so gelten für dieselben die in Art. 164 (S. 235) gegebenen Entwicklungen. Auf der Tafel bei S. 298 ist bei *E* der Gewölbkappe *I* der Kranz einer Stichkappe nebst der Aufmauerung *F* für das Ohr derselben gezeichnet.

201.
Stichkappen.

Auf derselben Tafel ist auch die Stellung *G* der Wölbscheiben *JH* und deren Unterlagerung durch Keile *K* auf dem Untergestell *L* mit dessen Abpreizungen *M*, bezw. *N* angegeben. Auch ist für das Trockenhalten des Raumes und des Fußbodens in Bezug auf den höchsten Grundwasserstand *U* durch die Betonschicht *T*, die Isolirung der Mauerkörper der Umfangsmauern, bezw. Scheidemauern u. f. f., die Untermauerung *V* der Fußbodenlager *W*, so wie durch Luftbewegung unterhalb des Fußbodens das Nöthige dargestellt. Ausserdem ergibt sich aus dem Schnitte *CD* die Anordnung des Schutzes der Umfangsmauern gegen Feuchtigkeit. *O* ist eine Thonschicht; *P* sind Drainrohre; *E* ist Steinschlag, und *Q* ist eine Kieslage. Die Außenseite der Grundmauer ist mit einem Anstrich von Goudron (Theer) versehen.

In manchen Fällen, namentlich bei quadratischer Anlage von Räumen bis zu etwa 8^m Seitenlänge, kann man die Gurtbogen zur Zerlegung der Gewölbekappen auch ganz vermeiden und dieselben durch einen Pfeiler, bezw. durch eine Säule aus Stein oder Eisen ersetzen. Eine solche Anordnung zeigt Fig. 382, wobei vier Kappengewölbe sich gegen einen Pfeiler legen, welcher im Inneren ein Rauchrohr *p* enthält. Die Kappen *I* bis *IV* schneiden sich in Gratlinien in der Richtung *hi*, welche die inneren Wölblinien der Grate *G* bilden. Diese sind, wie aus dem Schnitte *ACDF* hervorgeht, um $\frac{1}{2}$ Stein stärker ausgeführt, als die Kappengewölbe. Die Ausmittelung dieser Wölblinie *hH* nach der Wölblinie *ab* der Kappen erfolgt in der aus der Zeichnung zu ersehenden Weise. Die Ansatzfläche der Grate *G* am Pfeiler gehört der Normalebene *hn* zum Ellipfenstücke *hH* an. Die Gesamtanordnung dieser Decken-Construction ist aus der Darstellung ohne Weiteres erkennbar.

Müssen in Kappengewölben Oeffnungen für Aufzüge, Treppen, Deckenlichter u. f. w. gelassen werden, so sind dieselben in geeigneter Weise mit Gewölbkränzen, wie in Fig. 383 gezeigt ist, zu umgeben. Auf diese Kränze wird der Gewölbschub der antretenden Wölbschichten übertragen. Die Laibungs- und Rückenflächen dieser Kränze gehören Kegelflächen an. Ihre Durchbildung entspricht der Anordnung der in Art. 166 (S. 237) gegebenen Kranz-Construction bei kegelförmigen Stichkappen vollständig, und es kann deshalb hier die weitere Besprechung derselben unterbleiben. Für kleinere Oeffnungen im Gewölbe kann auch statt des Kranzes ein runder oder quadratischer eiserner Rahmen eingesetzt werden, welcher, wenn die Oeffnung als Deckenlicht dienen soll, gleich als Zarge oder Rahmen für die Verglasung zu benutzen ist.

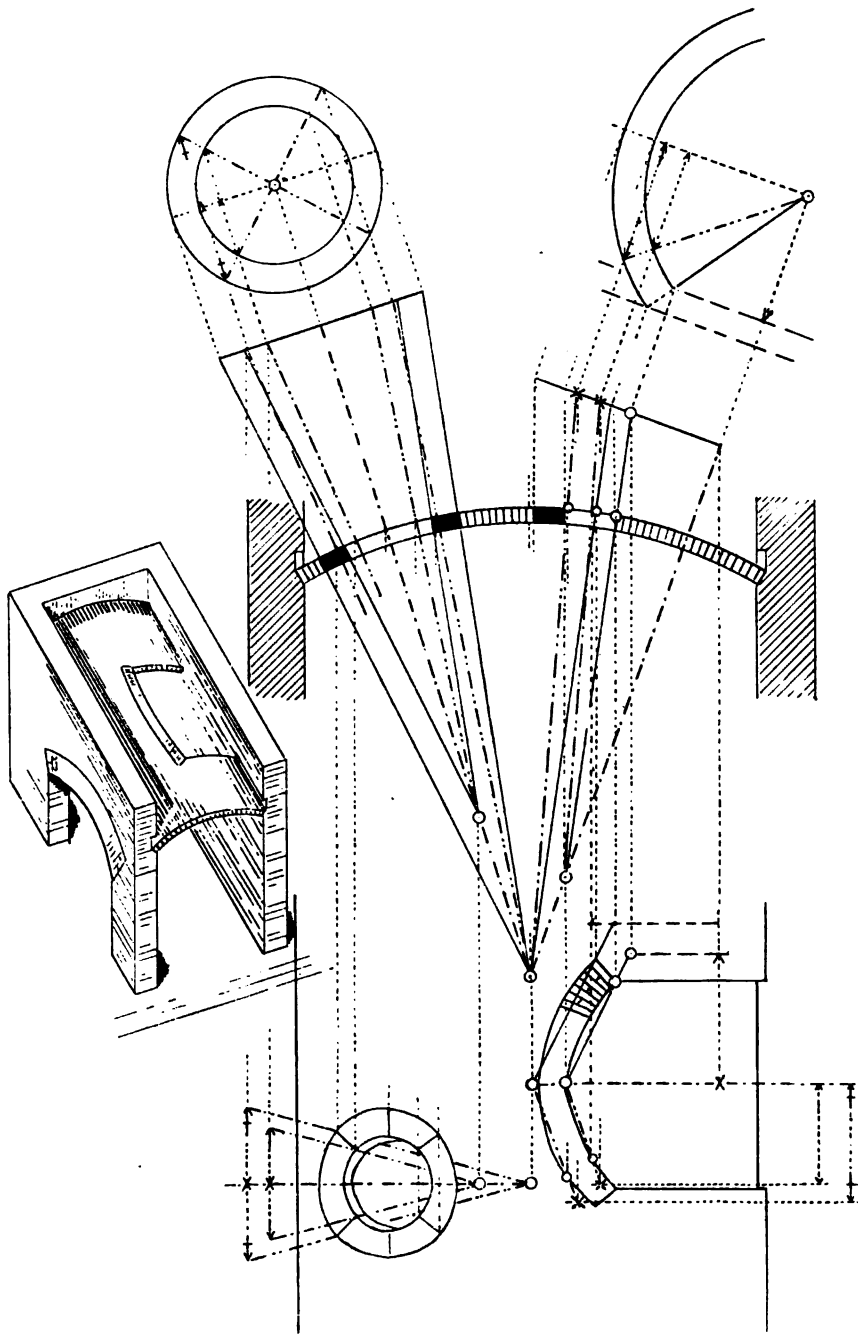
Die steigenden Kappengewölbe, welche bei Treppenanlagen mannigfach zur Ausführung gelangen, stimmen im Grundzuge mit den in Art. 130 (S. 159) behandelten Tonnengewölben überein. Ihre Verbandart entspricht der des gewöhnlichen geraden Kappengewölbes.

202.
Steigende
Kappen-
gewölbe.

Sollen größere Räume mit Kappengewölben überdeckt werden, ohne daß Gurtbogenstellungen benutzt werden, so wird ein aus eisernen Trägern mit Säulenunterstützung bestehendes Balkensystem geschaffen, welches in seinen Feldern die Gewölbkappen aufnimmt. Bei solchen Anlagen, welche bei Fabriken, landwirthschaftlichen Bauwerken u. f. w. in ausgedehntem Maße geschaffen werden, tritt die Eisen-Construction in den Vordergrund, während die eigentliche gewölbte Decke

203.
Ueberwölbung
größerer
Räume.

Fig. 383.



ganz nach den im Vorhergegangenen gegebenen Vorschriften entworfen und ausgeführt werden kann.

Die Besprechung von Eisen-Constructionen, welche für die Bildung von derartigen Decken geeignet sind, wird unter C stattfinden.

II. Kapitel.

Klostergewölbe und Muldengewölbe.**a) Klostergewölbe.****1) Gestaltung der Klostergewölbe.**

Das Klostergewölbe zeigt in seiner Laibungsfläche seitlich neben einander tretende cylindrische Flächen. Die Erzeugenden derselben sind parallele gerade Linien, wovon die Anfangserzeugende jedesmal eine in der Kämpferebene liegende Seitenlinie der Grundrissfigur des Gewölbes ist. Ihre Schnittlinien sind ebene Curven, jedoch in ihrer Grundrissprojection gerade Linien, welche von den Ecken der Grundfigur nach einem gemeinschaftlichen, innerhalb derselben gelegenen Punkte gezogen werden können. In den meisten Fällen ist dieser Punkt der Schwerpunkt der Grundfigur, immer aber die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes.

204-
Form.

Ist für irgend eine der cylindrischen Flächen des Klostergewölbes eine ebene Curve als Leitlinie fest gesetzt, so sind hiervon sowohl die Leitlinien aller übrigen Wölbflächen, als auch die sämmtlichen Schnitt- oder Durchdringungslinien derselben abhängig zu machen.

Diese für eine beliebige Wölbfläche fest zu setzende Leitlinie kann ein Flachbogen, ein Viertelkreis, ein steil aufsteigender Kreisbogen, ein elliptischer Bogen, ein Parabelbogen u. s. w. sein. Der tiefste Punkt einer solchen Ursprungs-Leitlinie liegt in der Kämpferebene des Gewölbes, während ihr höchster Punkt mit dem Scheitelpunkt des Gewölbes zusammenfällt.

Die Grundrissfigur kann als Dreieck, Quadrat, Rechteck oder als regelmäßiges, bezw. unregelmäßiges Vieleck gegeben sein. Das Festlegen der cylindrischen Wölbflächen erleidet in der angegebenen grundlegenden Bildung keine Aenderung. Am besten eignen sich jedoch für die Anlage von Klostergewölben regelmäßig angeordnete Grundrissformen.

Die Zahl der einzelnen zusammenzufügenden Flächen entspricht der Seitenzahl der gegebenen Grundrissfigur. Ist diese Figur ein geschlossener Kreis oder eine geschlossene Ellipse, so entsteht eine Laibungsfläche, welche derjenigen der Kuppelgewölbe entspricht, die alsdann aber, da nunmehr die Schnittlinien der einzelnen cylindrischen Flächen verschwinden, in ihrer Construction von derjenigen der Klostergewölbe wesentlich abweicht.

Ist die Leitlinie der als Bestimmungsfläche genommenen Wölbfläche eine steil aufsteigende, gesetzmäßig gebildete ebene Curve, so entsteht bei einem Vieleck als Grundrissfigur stets ein Klostergewölbe, welches auch wohl die Namen Haubengewölbe oder Walmkuppel führt, jedoch nicht mit der Bezeichnung Kuppelgewölbe belegt werden sollte.

Da die sämmtlichen Wölbflächen des Klostergewölbes von den Umfangseiten des zu überwölbenden Raumes aus beginnen und jede derselben als ein Theil eines Tonnengewölbes anzusehen ist, welches an diesen Seiten seine Fußfläche findet, so treten sämmtliche Umfangsmauern des Raumes als Widerlagsmauern auf. Der Abstand des vorhin bezeichneten, in seiner wagrechten Projection bestimmten Scheitelpunktes von der wagrechten Kämpferebene bestimmt die Pfeilhöhe oder kurz die

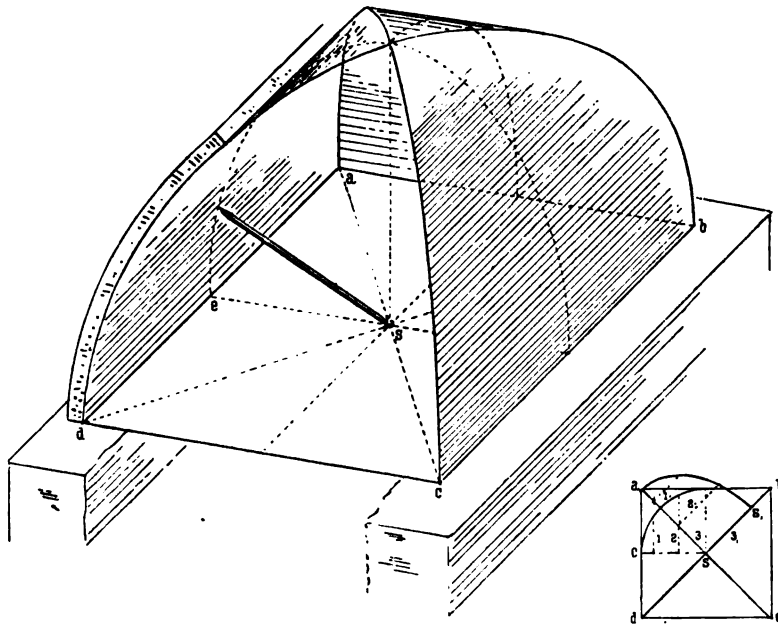
Höhe des Klostergewölbes. Dieselbe kann je nach den für die Durchbildung des Gewölbes zu stellenden künstlerischen, bezw. statischen Anforderungen entsprechend groß oder klein genommen werden.

Die Schnitt- oder Durchdringungslinien der Wölbflächen heißen Gratlinien, Grate oder Gräte.

Die den cylindrischen Flächen zugehörigen Gewölbkörper nennt man Gewölbkappen oder auch Gewölbwangen. Zwei zusammentretende Gewölbkappen bilden eine Kehle. Die innere Kehllinie ist die Gratlinie. Der Winkel einer Kehle entspricht demjenigen Winkel, welchen die zusammentreffenden Umfangsmauern bilden, von deren Schnittlinie die Gratlinie der Kehle ausläuft.

Aus den gegebenen allgemeinen Anordnungen eines Klostergewölbes ist zu erkennen, daß die Gestaltung desselben eine äußerst mannigfache, ja selbst in künstlerischer Beziehung bei groß angelegten Verhältnissen eine reiche und ansprechende sein kann. Bei den gewöhnlichen einfachen Klostergewölben über rechteckigen oder quadratischen Räumen mit beschränkter Constructionshöhe ist allerdings die Wirkung in baukünstlerischer Richtung nur äußerst mäßig. Im weiteren Verlaufe der Besprechung des Klostergewölbes wird sich jedoch zeigen, daß die Gestaltung desselben in verschiedener Weise zu seinen Gunsten zu bewirken ist, so daß sich die hier und da auftretende, oft stiefmütterlich erscheinende Behandlung des Klostergewölbes vermeiden läßt.

Fig. 384.



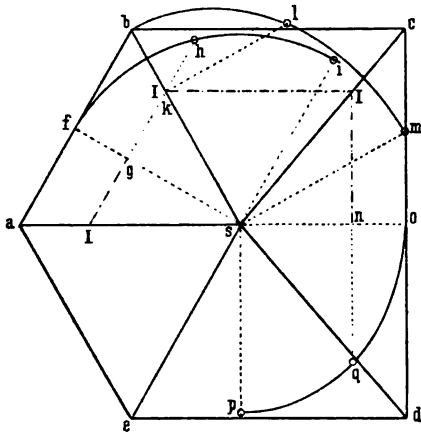
205.
Einfache
Kloster-
gewölbe.

In Fig. 384 ist die Form eines einfachen Klostergewölbes mit quadratischem Grundriss $abcd$ gegeben. Die geraden Linien as , bs , cs und ds sind die wagrechten Projectionen der Gratlinien des Gewölbes. Die Ursprungs-Leitlinie der Gewölbkappe über asd ist ein mit dem Halbmesser se , gleich der Länge der Ordinate 3 , um s beschriebene Viertelkreis. Der Punkt e ist der Mittelpunkt der Seite ad . Die Länge der Ordinate 3 bestimmt die Pfeilhöhe des Klostergewölbes. Die wirkliche

Gratlinie as_1 , hier eine Vierteilellipse, ist in bekannter Weise mittels der Ordinaten 1, 2 und 3 fest gelegt. Für dieses Gewölbe sind die Leitlinien aller übrigen Kappen asb , bsc und csd dieselben Viertelkreise, wie für die Kappe asd , und eben so sind alle Gratlinien über bs , cs und ds der Vierteilellipse as_1 gleich. Aus dem Bilde in Fig. 384 ergibt sich, in welcher Weise die einzelnen Gewölbkappen in den Graten zusammentreffen und, von den Umfangsmauern aufsteigend, im Scheitelpunkte des Gewölbes gemeinfam endigen.

Für die Gestaltung der Wölbflächen über einem Vieleck (Fig. 385) erwachsen gleichfalls keine Schwierigkeiten. Hier ist die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes der Schwerpunkt s des Fünfeckes $abcde$. Gerade Linien,

Fig. 385.



von s nach den Mitten der Seiten, z. B. sf nach dem Mittelpunkte f von ab , so nach dem Mittelpunkte o der Seite cd gezogen, geben die wagrechten Projectionen der Leitlinien der einzelnen Gewölbkappen. Dieselben sind hier gleichzeitig Lothe, welche von s auf die Umfangseiten gefällt werden können. Bei ganz unregelmäßiger Grundrissform bleiben dieselben meistens keine Lothe der Seiten, sondern laufen am zweckmäßigsten von s nach den Mittelpunkten derselben. Die wagrechten Projectionen der Gratlinien sind wiederum die von s nach den Ecken a , b , c u. f. f. gehenden geraden Linien sa , sb , sc u. f. f.

Wird nun für eine Gewölbkappe, z. B. für abs , eine beliebig gewählte, gesetzmäßig geformte Curve, hier ein Viertelkreis fi um s mit dem Halbmesser sf beschrieben, als Ursprungs-Leitlinie fest gesetzt, so giebt $si = sf$ als Loth in s auf sf die Pfeilhöhe des Gewölbes. Legt man durch den beliebigen Punkt h der Leitlinie fi eine wagrechte Ebene, so laufen die Schnittlinien II , II u. f. w. dieser Ebene auf den sämtlichen Wölbflächen, die gleichfalls in einer wagrechten Kämpferebene beginnen, parallel mit den zugehörigen Kämpferlinien der Gewölbkappen, d. h. parallel mit den Seiten der Grundrissfigur. Gerade Linien mit den Eigenschaften der Geraden II sind Erzeugende der Gewölbkappen.

Soll nun ein Punkt l einer Gratlinie, z. B. derjenigen über bs , gefunden werden, so ist offenbar nur im Schnittpunkte k der Linie II mit bs das Loth kl auf bs zu errichten, dessen Länge gleich ist dem Lothe gh , errichtet im Schnittpunkte g der Linie II mit der wagrechten Projection fs der Hauptleitlinie fi der Gewölbkappe asb ; denn gh ist die Ordinate dieser Leitlinie für die Erzeugende II . In gleicher Weise ist auch die Leitlinie op der beliebig genommenen Gewölbkappe csd bestimmt. Für dieselbe muß das Loth nq auf so gleich $gh = kl$ sein.

Klostergewölbe über sehr unregelmäßig begrenzten Räumen gewähren niemals ein schönes Aussehen. Sollen aber solche Gewölbe auch bei diesen Räumen durchaus in Anwendung kommen, so erfolgt die Ausmittlung der Wölbflächen genau so, wie soeben für Fig. 385 angegeben ist.

Eben so gut nun, wie nach Annahme einer Hauptleitlinie für eine Gewölbkappe die Gestaltung des Klostergewölbes vorgenommen ist, kann umgekehrt auch

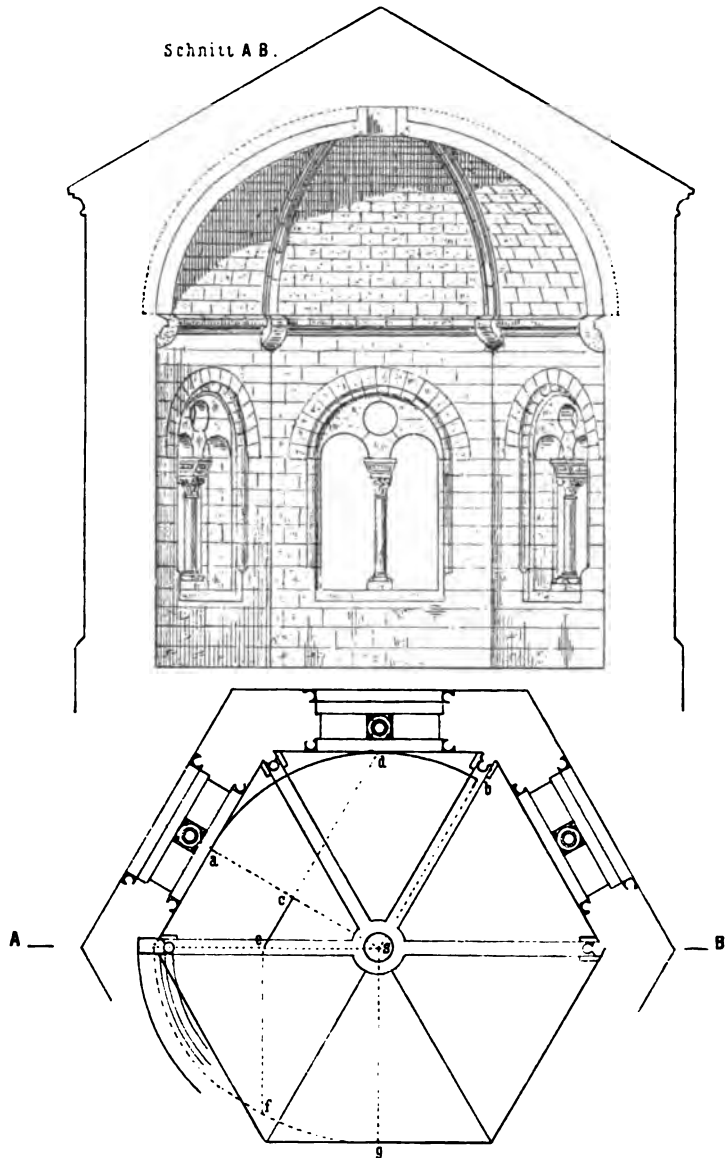
nach Festlegen einer gewählten Kehl- oder Gratlinie die Gestalt der Leitlinien sämtlicher Kappen und der übrigen Gratlinien bestimmt werden, ohne am Grundgedanken Aenderungen eintreten zu lassen. Von dieser Freiheit wird später noch ausgiebiger Gebrauch zu machen sein.

Betrachtet man die Gratlinien für sich wieder als Wöblinien schmaler Tonnengewölbe, so lassen sich diese als besondere Gewölbkörper zu sog. Gratabogen gestalten, gegen welche sich die einzelnen Wangen des Klostergewölbes legen. Diese Gratabogen, entsprechend mit Widerlagsflächen für die Kappen versehen, treten dann zweckmäfsig in den Kehlen vor und erhalten hier eine mehr oder weniger reiche Gliederung. Durch solche Anordnung ist neben einem Gewinn an architektonischer und unter Umständen auch an constructiver Durchbildung ein Beleben der immerhin ernst erscheinenden Gewölbkappen möglich.

In Fig. 386 ist ein derartiges Beispiel für ein Kloftergewölbe über einem regelmäfsig fechseckigen Raume gegeben. Die Ausmittlung eines Gratabogens ist unter Berücksichtigung des hierüber bereits Gefagten vorgenommen. Die Gratabogen sind im Scheitel gemeinschaftlich gegen einen gewölbten Kranz oder Ring gesetzt, welcher gleichsam als der mit einer Oeffnung versehene Schlussstein des Gewölbes auftritt.

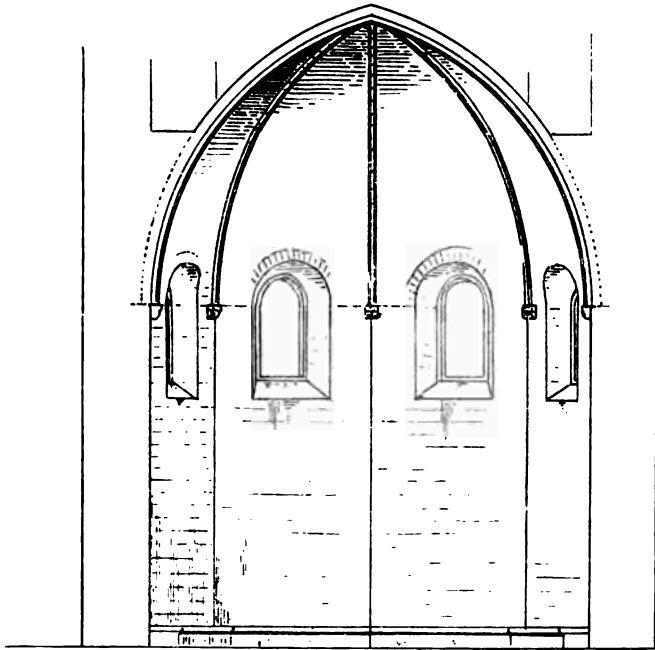
Sind die oberen Abflüsse von Thür- oder Lichtöffnungen der Umgangsmauern der Klostergewölbe höher zu legen als die Kämpferebene desselben, so sind, wie für die Tonnengewölbe in Art. 133 (S. 161) erwähnt, auch die Klostergewölbe in ihren

Fig. 386.



Wangen, welche von jenen Oeffnungen in Mitleidenschaft gezogen werden, mit Stichkappen zu versehen. Die Anlagen von Stichkappen oder Lunetten können für sämmtliche Gewölbkappen, selbst dann, wenn in den zugehörigen Widerlagsmauern

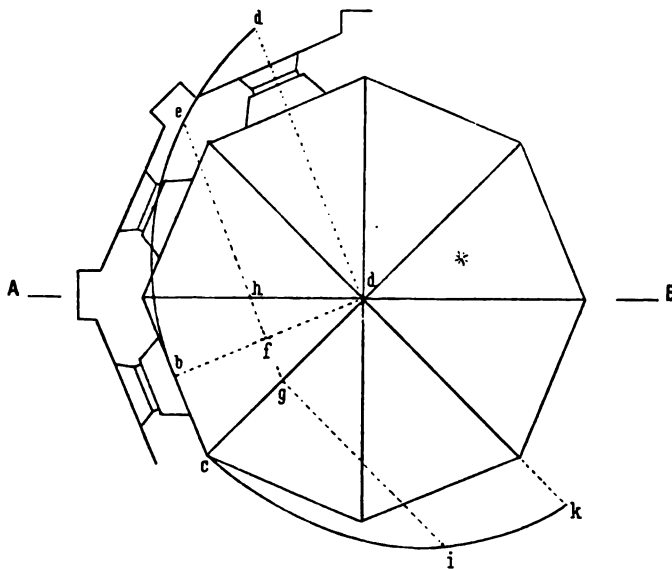
Fig. 387.
Schnitt A B.



gar keine Oeffnungen vorhanden sind, stattfinden. Hierdurch erfahren die Klostergewölbe ein leichteres und freieres Aussehen, als solches bei einem gewöhnlichen Klostergewölbe ohne Lunetten der Fall ist.

Für die Form und Durchbildung solcher Stichkappen gilt das hierüber in Art. 164 (S. 235) bereits Mitgetheilte.

In Fig. 387 ist ein Klostergewölbe mit kleineren Stichkappenanordnungen und Graten, welche an den Kehllinien vortreten, gegeben.



Die Ursprungs-Leitlinie ab der Gewölbkappen ist ein Kreisbogen, dessen Halbmesser grösser ist, als das Loth db auf bc . Die Gratbogen ck sind Ellipsenstücke, welche alsdann spitzbogenartig über dem achteckigen Raume zusammentreten. Irgend ein Punkt i des Gratbogens ist zu bestimmen, indem man z. B. die gerade Erzeugende gh parallel zu bc zieht, im Schnitte f derselben mit dem Lothe db , d. h. der wagrechten Projection der Leitlinie bd , das Loth fe auf db errichtet und das in g auf d , d. h. der wagrechten Projection des Gratbogens, errichtete Loth $gi = fe$ abträgt.

Durch dieses Feststellen der Gewölbform nimmt das Klostergewölbe die Gestaltung eines Haubengewölbes oder einer Walmkuppel an.

Man kann jedoch ohne Benutzung der eigentlichen Stichkappen in einfacher

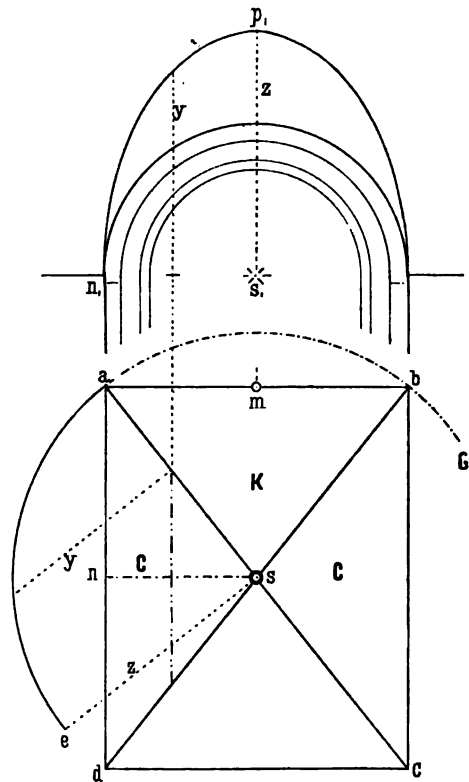
Weise, namentlich bei einer Deckenbildung durch Klostergewölbe über regelmässig begrenzten Grundrissen, einzelne Umfangsmauern mit grösseren Thür-, bzw. Fensteröffnungen versehen, sobald eine weitere besondere Umgestaltung des eigentlichen Klostergewölbes in Betracht gezogen wird.

207.
Kloster-
gewölbe
mit
sphärischen
Kappentheilen.

Die Grundlage für diese Gestaltung der Klostergewölbe besteht in der Vereinigung der eigentlichen cylindrischen Gewölbwangen mit sphärischen Gewölbkappen, wobei die sämtlichen Gewölbflächen von Gratlinien abhängig gemacht werden, welche bestimmt vorgeschriebenen Kreisbogen entsprechen.

Für die Entwicklung der nach dieser Anschauung zu bildenden Gewölbflächen möge zunächst die Deckenanordnung für einen rechteckigen Grundriss (Fig. 388) behandelt werden. Die wagrechten Projectionen der im Scheitelpunkte des Gewölbes zusammentretenden Gratbogen sind die Hälften der Diagonalen des Rechteckes. Nimmt man die Gratlinie über as als Viertelkreis ae mit dem Halbmesser sa an und bemerkt man ferner, dass hier ohne Weiteres auch der Gratbogen über bs ein eben solcher Viertelkreis mit dem Halbmesser $sb = sa$ wird, so schneiden sich diese beiden Kreisbogen in einem Punkte, dem Scheitelpunkte des Gewölbes. Beide Kreise sind dann aber Theile von zwei grössten Kreisen einer Kugelfläche, deren Mittelpunkt s und deren Halbmesser ebenfalls $sa = sb$ ist. Der Mittelpunkt s dieser Kugelfläche liegt in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes, welche auch die Eckpunkte a und b des gegebenen Rechteckes enthält. Danach ist auch der um s mit dem Halbmesser sa durch a und b gehende Kreis G ein grösster Kugelkreis. Die Laibungsfläche der Gewölbkappe K , welche zwischen den Kugelkreisen über sa und sb liegt, kann also als Kugelfläche eingefügt werden. Die in ab errichtete lothrechte Ebene schneidet diese Kugelfläche nach einem Halbkreise mit dem Halbmesser $ma = mb$. Dieser Halbkreis ist der Stirnbogen der Kugelkappe K . Sein Scheitelpunkt liegt über der Kämpferebene, so dass die Möglichkeit vorhanden ist, im Mauerkörper ab eine Thür- oder Lichtöffnung mit der oberen Begrenzung gleichfalls über der Kämpferebene abschliessen zu können. In gleicher Weise lässt sich auch die Gewölbkappe csd als Kugelkappe einführen. Dagegen mögen die mit C bezeichneten Gewölbkappen cylindrische Laibungsflächen behalten, also Kappen des eigentlichen Klostergewölbes bleiben. Ihre Leitlinien sind nun aber von den für die Gratlinien as , bzw. bs angenommenen Kreisbogen abhängig zu machen. Diese Leitlinien werden hier Viertel-ellipsen, welche in bekannter Weise, z. B. über ns mittels der Ordinaten y, z u. f. w., als $n_1 p_1$ zu bestimmen sind.

Fig. 388.



Würden dieselben Mafnahmen für eine quadratische Plananlage getroffen, so entstünden auch hierbei keine Aenderungen in den grundlegenden Bestimmungen für die Ausmittlung der Gewölbflächen.

Man braucht aber auch nicht eine einzelne Gewölbkappe in ihrer Gesamtheit als Kugelkappe anzuordnen, sondern kann nur einen Theil derselben in geeigneter Lage innerhalb der Wange des Klostergewölbes als Kugelkappe einreihen.

In Fig. 389 ist diese Gestaltung für ein Klostergewölbe über einem quadratischen Raume gegeben. Das Stück esf der Wange asb soll eine Kugelkappe werden.

Die symmetrisch zur Gewölbaxe sn gelegenen Schnittlinien der Kugelkappe mit der Wange des Klostergewölbes sind in ihren Grundrifs-Projectionen die geraden Linien es und fs . Die Schnittlinien selbst sollen gegebene Kreisbogen ei , bezw. fk sein, deren Mittelpunkte g , bezw. h hier in der Kämpferebene

und auf den verlängerten Geraden es , bezw. fs liegen.

Diese beiden Kreisbogen bestimmen eine Kugelfläche, deren Mittelpunkt m im Schnittpunkte der in g auf es und in h auf fs errichteten Lothe liegen mufs. Der Halbmesser dieser Kugelfläche ist $me = mf$. Der um m mit diesem Halbmesser geschlagene Kreis K ist ein größter Kreis derselben. Die in ab aufgestellte lothrechte Ebene

schneidet die Kugelfläche in einem um n mit $ne = ef$ beschriebenen Halbkreise, welcher zugleich die Stirnlinie der Kugelkappe über esf bildet. Die lothrechte Ebene in ns schneidet die Kugelfläche nach dem Kreisbogen fs , welcher der Scheitellinie der Kugelkappe entspricht. Die seitlich von den Schnittlinien es und fs der Kugelkappe befindlichen Gewölbstücke ase und bsf sind Wangenstücke der cylindrischen Kappe des Klostergewölbes. Da die Erzeugenden dieser Kappe gerade wagrechte Linien

sind, welche parallel zu den Kämpferlinien ae , bezw. bf bleiben, so wird die Gratlinie as , bezw. bs von den Kreisbogen ei , bezw. fk abhängig gemacht; man erhält hierfür Ellipsenstücke, worin z. B. die Punkte u , und t , dieselbe lothrechte Höhe $xq = qr$ über der Kämpferebene besitzen, wie die Punkte q , und v , der Schnittlinien über es , bezw. fs . Die in op parallel zu ab stehende

lothrechte Ebene schneidet die Wangenstücke ase und bsf

in geraden Linien, deren wagrechte Projectionen in uq und vt , deren lothrechte Projectionen in u, q , und v, t , erhalten werden. Die wagrechte Projection des Schnittes dieser Ebene mit der Kugelkappe esf würde die gerade Linie qv sein, während die lothrechte Projection desselben der um n beschriebene Kreisbogen q, v , ist. Der Halbmesser nq , dieses Kreisbogens ist gleich der Länge der geraden Linie op , d. h. gleich der halben Länge der Sehne pl des größten Kreises K in der Spur op jener Ebene. Eine durch die Punkte u, t , gelegte wagrechte Ebene AB schneidet die Laibungsflächen des Wölbfsystems in der Grundrifsprojection im Linienzuge $uqvtwz$, wovon z. B. der Kreisbogen qv wiederum, als zur Kugelkappe gehörend auf der Kugelfläche liegt, deren Mittelpunkt m ist. Derselbe ist ein Theil eines Parallelkreises dieser Kugelfläche. Sein Halbmesser ist $nq = mv$. Die geradlinigen Theile des bezeichneten Linienzuges sind Erzeugende der ihnen zukommenden cylindrischen Flächen des eigentlichen Klostergewölbes.

Nach diesen Grundlagen können auch bei einem Haubengewölbe Kugelkappen mit Wangen des eigentlichen Klostergewölbes abwechselnd in Verbindung gebracht werden. Die hierfür erforderliche Ausmittlung der Gewölbflächen ist ohne Weiteres aus Fig. 390 zu entnehmen.

Sollen in einer Wange der hier betrachteten Gewölbe mehrere neben einander liegende Kugelkappen zur weiteren Gliederung der Wangenfläche angebracht werden, so tritt nur eine wiederholte Anwendung des angegebenen Verfahrens ein.

In Fig. 391 sind für die Wange asb eines Klostergewölbes drei Kugelkappen eingefaltet, deren

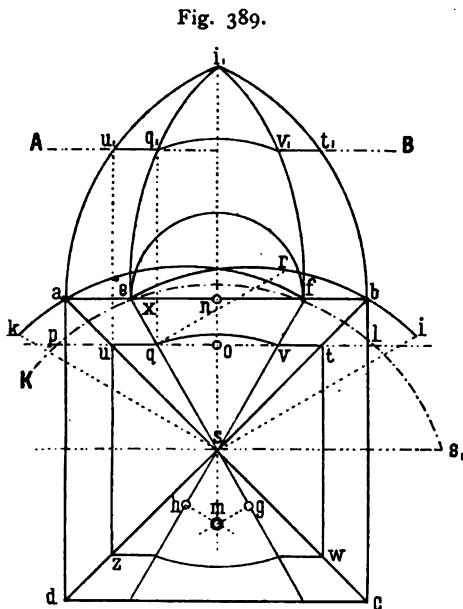


Fig. 389.

Schnittlinien in der Grundrissprojection die vom Scheitelpunkte s auslaufenden Geraden se , sh u. f. f. find, deren wirkliche Form aber bestimmten Kreisbogen entspricht, welche von e , h u. f. f. aufsteigen und sämmtlich einen einzigen gemeinschaftlichen Schnittpunkt besitzen, und zwar hier den Scheitel des ganzen Gewölbes.

Wenngleich vorweg einer dieser Bogen mit seinem in der Kämpferebene und auf der unter Umständen weit über s hinaus zu verlängernden Geraden es , bzw. hs gelegenen Mittelpunkte beliebig gewählt werden kann, so empfiehlt es sich doch zur Festlegung der Höhe des Scheitels und der Entwicklung der allgemeinen Form des Gewölbes, zuerst einen Versuchskreisbogen ac in der lothrechten Ebene einer Gratlinie anzunehmen, um danach weiter auch ein schickliches Aufsteigen der Gewölbfächen beurtheilen zu können. Selbstverständlich gilt dieser Kreisbogen nicht als wirkliche Gratlinie; denn diese muß von dem zunächst liegenden Kreisbogen der Kugelkappe abhängig werden, also später sich als Ellipsenstück fest legen lassen.

Hiernach sei sc die Scheitelhöhe des Gewölbes. Um den Kreisbogen der Schnittlinie für es zu bestimmen, ist in s auf es das Loth sf errichtet und $sf = sc$ genommen. Das in der Mitte der hier nicht gezeichneten Sehne ef des gesuchten Kreisbogens errichtete Loth trifft die verlängerte Gerade es im Mittelpunkte g des nun zu schlagenen Kreisbogens ef . In gleicher Weise ist der Kreisbogen hi der Schnittlinie über hs mit dem Mittelpunkte k bestimmt. Beide Kreisbogen besitzen nun in Wirklichkeit den Scheitelpunkt des Gewölbes als einen gemeinschaftlichen Schnittpunkt. Die Punkte e , h und die Mittelpunkte g , k liegen in einer und derselben Ebene, hier in der Kämpferebene EF . Sie gehören einer Kugelfläche an, deren Mittelpunkt m sich als der Schnittpunkt der Lothe ergibt, welche in g auf eg und in k auf hk errichtet sind.

Der Halbmesser dieser Kugelfläche ist $me = mh$. Beschreibt man um m mit diesem Halbmesser einen Kreis M , so erhält man in demselben den größten Kreis der Kugelfläche, welche die Laibungsfläche der Kappe esh bildet. Die in eh stehende lothrechte Ebene schneidet diese Fläche in einem Halbkreise mit dem Durchmesser eh , giebt also den Stirnbogen der Kugelkappe esh .

Fig. 390.

Schnitt A B.

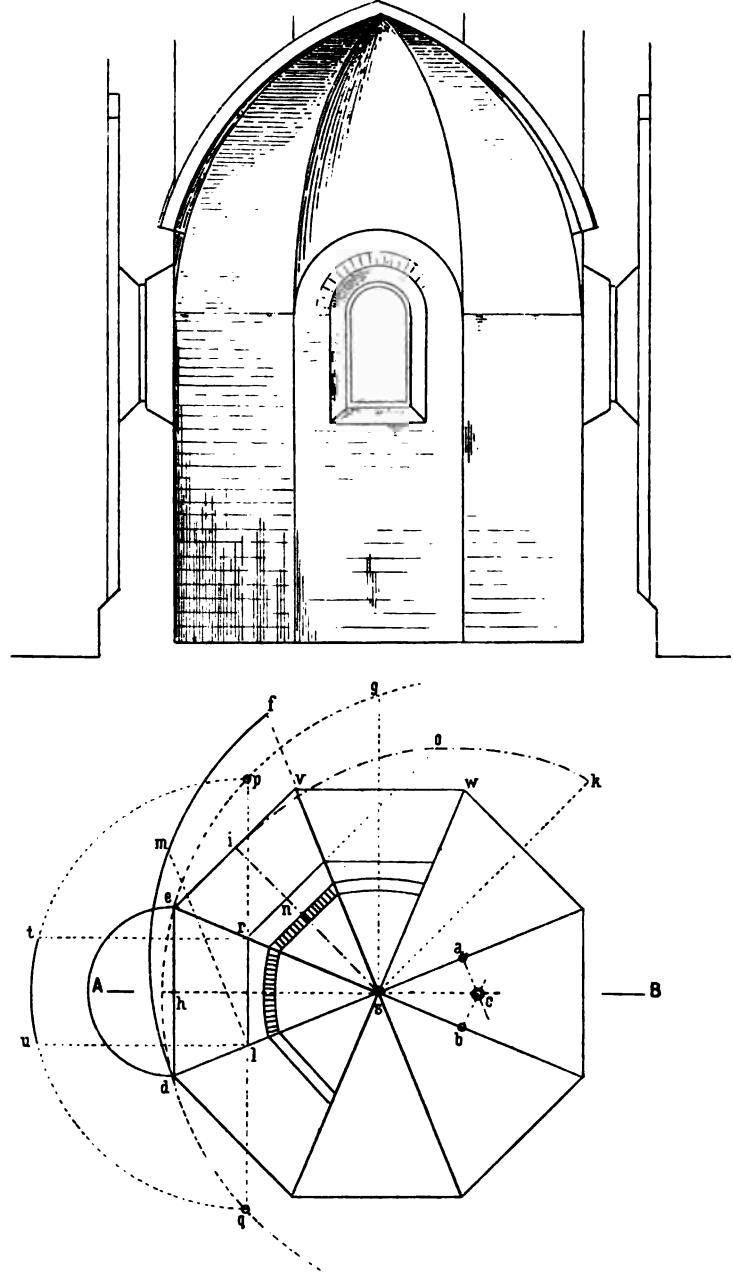
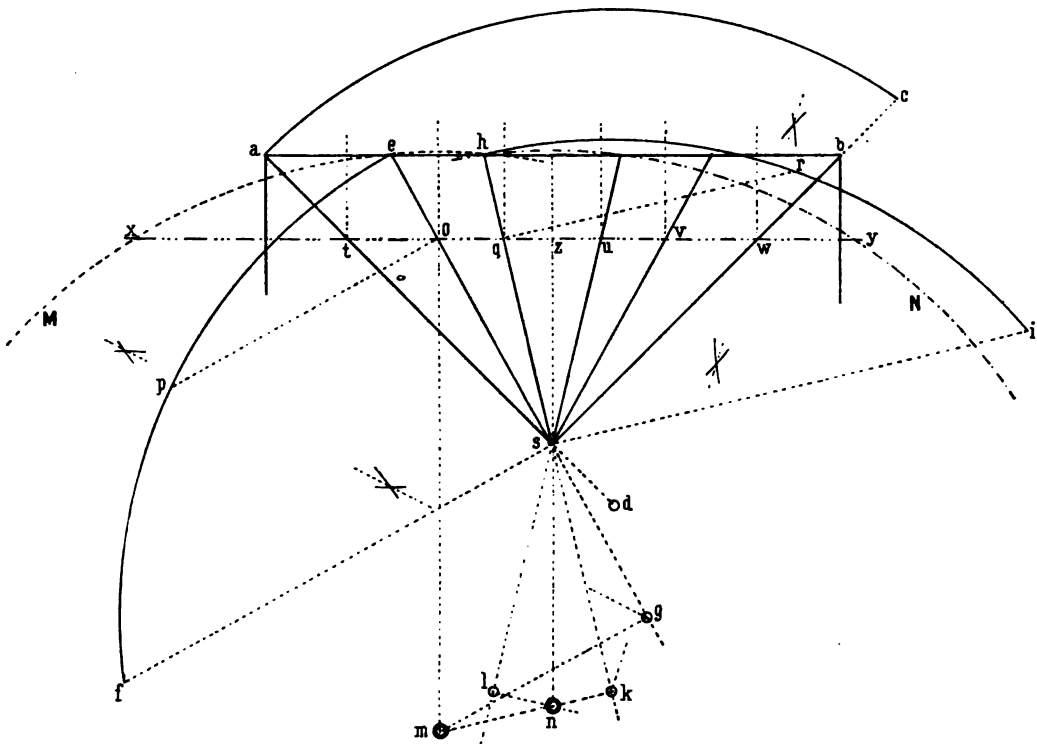
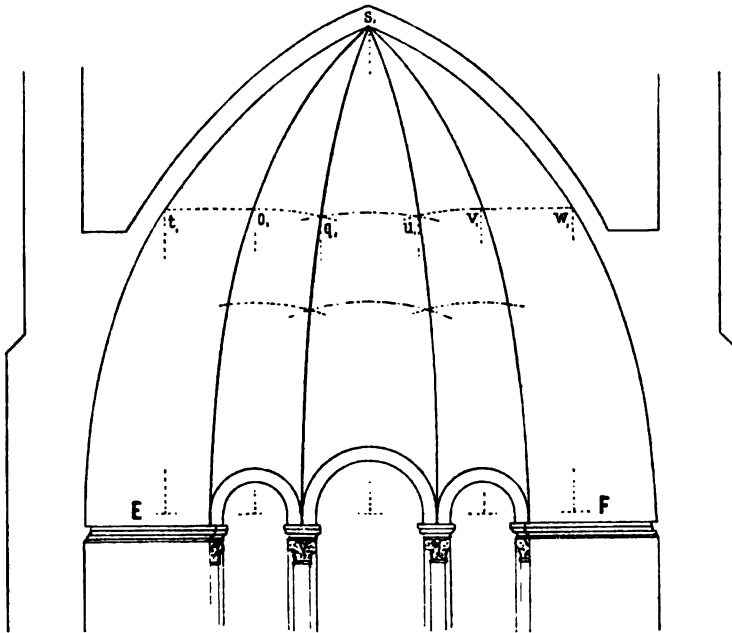


Fig. 391.



Für die mittlere Kugelkappe s entsprechen beide begrenzenden Schnittlinien demselben Kreisbogen hi . Erweitert man us und nimmt man $sl = sk$, so sind l und k die Mittelpunkte der Kreisbogen, welche der Kugelfläche dieser Kappe angehören. Der Kugelmittelpunkt n ist der Schnittpunkt des in l auf sl errichteten Lothes mit dem vorhin gezogenen Lothe km . Der Kugelhalbmesser ist nh , und der größte Kugelkreis wird N , wonach wiederum der Stirnbogen der Kappe s zu bestimmen ist. Die dritte Kugelkappe liegt zur ersten über ehs symmetrisch, so daß für dieselben neue Bestimmungen nicht zu treffen sind.

Ein lothrechter Schnitt, in der Richtung xy geführt, trifft die Gewölbfläche in einer Schnittlinie, deren lothrechte Projection als t, o, q, w, v, w , dargestellt ist. Die geraden und wagrechten Linien t, o , und v, w , gehören Erzeugenden der Wangentheile des Klostergewölbes an. Ihr lothrechter Abstand von der Kämpferebene EF ist $op = qr$, während offenbar die Stücke o, q , und v, u , Kreisbogen der Kugelfläche mit dem größten Kreise M sind. Das Loth mo auf xy dient sofort zur Bestimmung des Halbmessers ox dieser Kreisbogen. Eben so ist das Stück q, u , ein Kreisbogen der Kugelfläche um n . Das Loth nz auf xy giebt im Abstände seines Fußpunktes z vom Schnittpunkte y der Ebene xy mit dem nunmehr geltenden größten Kreise N , also in der Strecke sy den Halbmesser für den Kreisbogen q, u . Zu bemerken ist noch, daß auch die Punkte o, q, u, v , dieselbe Höhenlage $op = qr$ über der Kämpferebene haben, wie die Punkte t , und w .

Die Gratlinie über as , bezw. bs ist entweder unter Benutzung des Kreisbogens ef oder auch, wodurch dasselbe Ergebniss erzielt wird, unter Verwendung des Kreisbogens hi durch sog. Vergatterung unter Annahme von Erzeugenden, wie z. B. tw , leicht zu bestimmen. Außerdem sind dann im Zusammenhange mit diesen Gratlinien noch die Leitlinien der übrigen Kappen des Klostergewölbes auf bekanntem Wege fest zu legen.

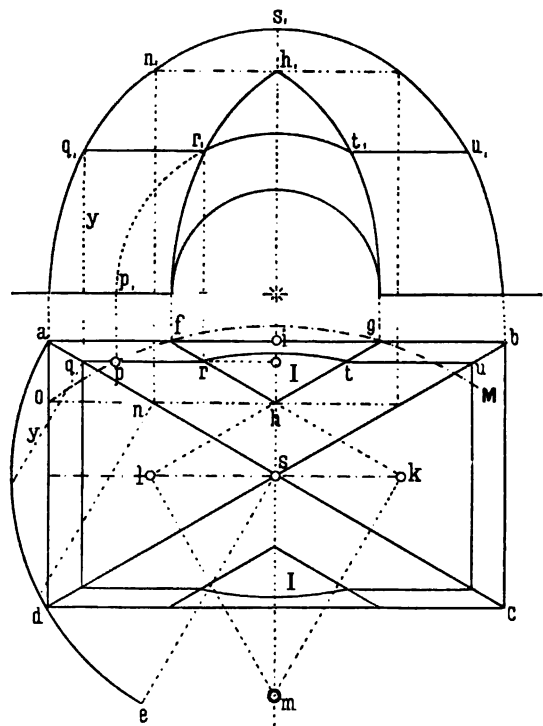
Läßt man die Schnittlinien der Kugelkappen im Klostergewölbe nicht bis zum Scheitel desselben reichen, so wird in den allgemeinen grundlegenden Gestaltungen, wie dieselben besprochen sind, eine Aenderung nicht herbeigeführt.

In Fig. 392 ist eine solche Anlage dargestellt. In dem Klostergewölbe über $abcd$ sollen I kleinere Kugelkappen sein, deren höchster Anfallspunkt h , in der Laibungsfläche tiefer liegt, als der Scheitelpunkt s , des Gewölbes. In solchen Fällen nimmt man die wagrechten Projectionen fh und gh der Schnittlinien dieser Kappen zweckmäßig parallel zu den Grundrissprojectionen der Gratlinien sa und sb an. Da jene Schnittlinien für die Kugelkappen in ihrer wirklichen Gestalt Kreisbogen sind, so setzt man auch für die Gratbogen ohne Weiteres bestimmte Kreisbogen fest, wonach die Schnittlinien der Kugelkappen geradezu Theile dieser Gratbogen werden.

In der Zeichnung ist für die Gratlinien über as , bezw. bs ein Viertelkreis ae gewählt. Wird die lothrechte Ebene der Gratlinie mit sich parallel bleibend nach fk verschoben, so soll der Schnittlinie der Kugelkappe über fh , bezw. gh der Theil ad mit der Höhe nd der Gratlinie ae zugewiesen werden. Da k und l die Mittelpunkte dieser Kreisbogen sind, welche sich über h schneiden, so liefern die in k auf fk und in l auf gl errichteten Lothe in ihrem Schnittpunkte m den Mittelpunkt ihrer Kugelfläche, und somit erhält man in dem um m mit dem Halbmesser mf , bezw. mg beschriebenen Kreis M den größten Kreis dieser Kugelfläche, welcher die Kugelkappen I zukommen. Die Scheitellinie dieser Kugelkappen ist der Kreisbogen fo , also gleichfalls ein Theil eines größten Kreises wie M , den die lothrechte Ebene nach mi genommen, auf der Kugelfläche erzeugt.

Die sonst noch nöthigen Ausmittelungen für die Gestaltung der ganzen Gewölbfläche ergeben sich nach dem bereits Vorgetragenen. Bemerket sei noch, daß die in qu aufgestellte lothrechte Ebene eine

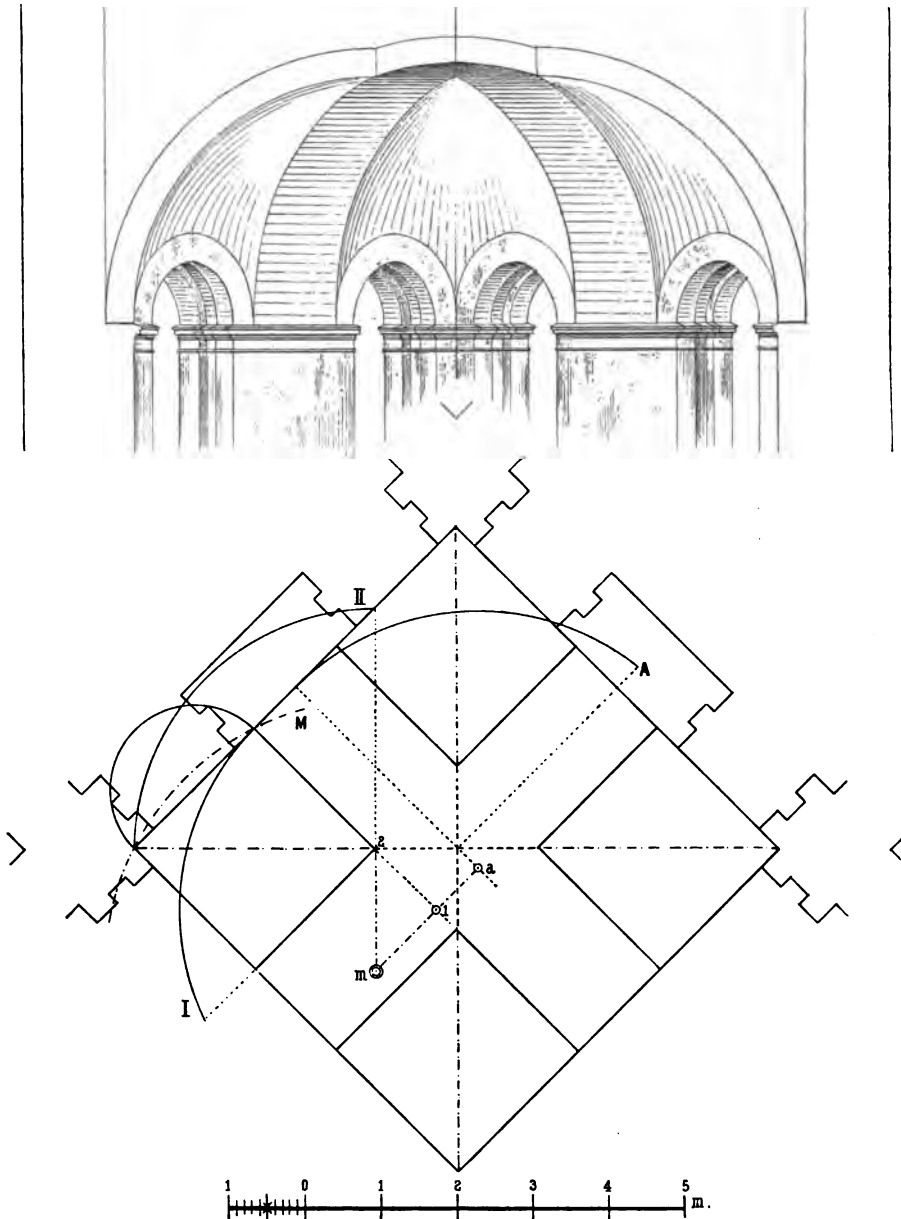
Fig. 392.



Schnittlinie mit der Aufrissprojection q, r, tu , giebt, während eine wagrechte Ebene, durch q, u , gelegt, die in der Grundrissprojection gezeichnete Schnittlinie $vqrtu$ liefert. Das Festlegen derartiger Schnittlinien ist ohne Weiteres aus der Zeichnung ersichtlich.

Sollen, wie in Fig. 393, zwei benachbarte Kugelkappen an jeder Ecke eines mit einem Klostergewölbe überdeckten Raumes angebracht werden, wonach alsdann

Fig. 393.



einzelne sich kreuzende verhältnismässig schmale Theile des eigentlichen Klostergewölbes übrig bleiben, so ist die Gestaltung der Gewölbfäche nach den angegebenen Regeln und nach den aus der Zeichnung leicht zu erkennenden Ausmittlungen zu beschaffen. Aehnliche Gewölbanordnungen finden sich bei Bauwerken, welche im Zopf-, bezw. im sog. Jesuitenstil errichtet sind.

Ist die Ausgangs-Leitlinie der Wangen eines Klostergewölbes eine gefetzmäßig krumme Linie von nur geringer Pfeilhöhe, so entsteht ein fog. flaches oder flachbogiges Klostergewölbe. Der Scheitelpunkt desselben liegt in mäßiger Entfernung über der wagrechten Kämpferebene. In der Regel wird für die erwähnte Ausgangs-Leitlinie ein flacher Kreisbogen gewählt, oder es wird auch eine Ausgangs-Gratlinie als flacher Kreisbogen angenommen und danach die Leitlinie jeder Wange als flaches Ellipfenstück entwickelt. Die Grundsätze, welche für die Gestaltung des gewöhnlichen Klostergewölbes maßgebend sind, bleiben auch für das flache Klostergewölbe bestehen. Das Einfügen von Kugelkappen in flache Klostergewölbe ist ebenfalls zulässig und für eine weitere Gliederung der Gewölbfäche an sich oft von Vortheil.

In Fig. 394 ist ein flaches Klostergewölbe in Verbindung mit Kugelkappen über einem regelmässigen Achteck gegeben.

Die über bs , bezw. ds gewählte Ausgangs-Gratlinie ist der um a mit dem Halbmesser $ab = ad$ beschriebene Kreisbogen mit der Pfeilhöhe sc . Die Leitlinie der Wange k des Klostergewölbes ist ein Ellipfenstück, für welches z. B. ein Punkt l in bekannter Weise durch das Loth kl auf sk gleich dem Lothe hi auf sb für eine Erzeugende hl bestimmt ist.

Das Festlegen der Kugelfäche für eine zwischen zwei Wangen des Klostergewölbes eingefügte Kugelkappe, z. B. für bsu , kann in der folgenden Weise bewirkt werden.

Der Mittelpunkt a der Ausgangs-Gratlinie bc liegt lothrecht unter dem Scheitelpunkte des Gewölbes in einem Abstände sa von der wagrechten Kämpferebene entfernt.

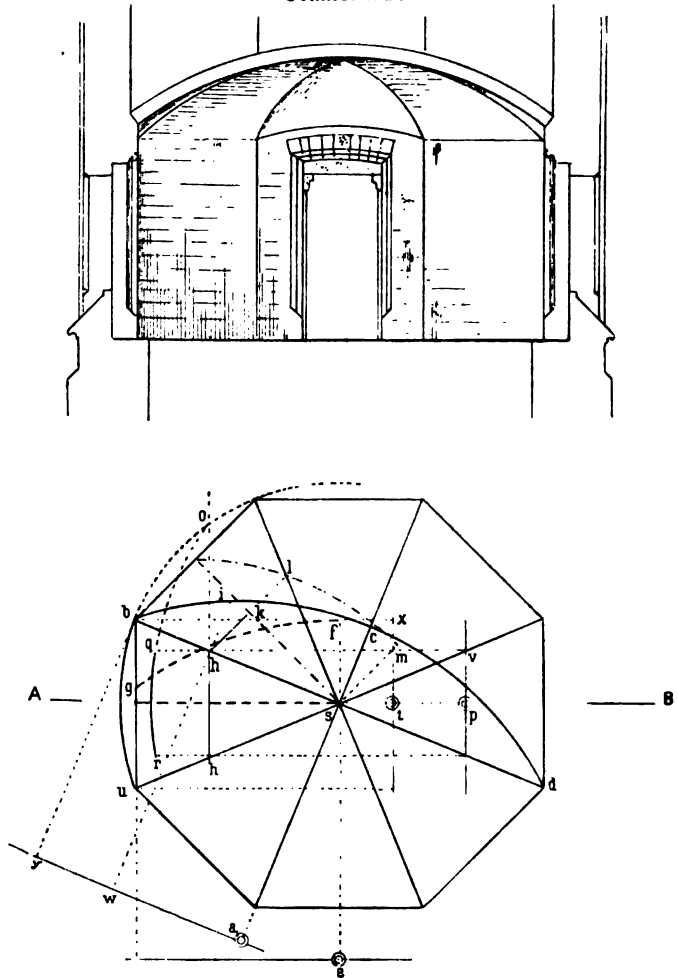
Diese Gratlinie gehört einem grössten Kugelkreise an, dessen Halbmesser ac ist, so daß hierdurch die Kugelfäche bestimmt wird.

Der um a mit dem Halbmesser sb beschriebene Kreis bo , welcher durch die Ecken des Raumes gehen würde, ist ein Parallelkreis der Kugelfäche. Derselbe liegt in der wagrechten Kämpferebene.

Um den Stirnbogen über bu für die Kugelkappe auszutragen, ist bx lothrecht zu bu gezogen und bx gleich dem vorhin erwähnten Abstände sa genommen. Dieser Abstand sa ist, wie aus der Zeichnung zu ersehen, auch gleich dem Lothe by , welches auf der zu sb parallelen wagrechten Spur ay der Mittelpunktsebene der Kugel gefällt wurde. Zieht man xm parallel bu , so giebt das von dem Halbirungs-

Fig. 394.

Schnitt A B.



punkte der Seite bu auf die erweiterte Gerade xm gefällt und durch s ziehende Loth im Punkte t den Mittelpunkt für den im Grundriß niedergelegten Stirnbogen bu .

Nimmt man hh parallel zu bu , so schneidet die in hh stehende lothrechte Ebene die Kugelfläche nach einem Kreisbogen qr mit dem Mittelpunkte p und dem Halbmesser wi . Der Punkt p liegt im Schnittpunkte einer zur Linie hh parallelen Geraden, für welche $hv = hw = sa$ ist, mit dem erweiterten Lothe st auf bu . Würde man die Gerade hh bis zum Schnittpunkte o mit dem Parallelkreise bo der Kugelfläche verlängern, so geht auch der entsprechend fortgeführte, um p beschriebene Kreis rq durch diesen Punkt o .

Die Scheitellinie der Kugelkappe bsu ist der um e mit dem Halbmesser $ef = ac$ beschriebene Kreisbogen gf . Der Punkt e liegt offenbar auf dem Lothe se zu sp im Abstände $se = sa$.

Läßt man auf eine Klostergewölbwange stets der Reihe nach eine Kugelkappe folgen, so ergibt sich eine Gewölbordnung, welche im Schnitte AB noch näher verdeutlicht ist.

Wollte man auch bei einem flachbogigen Klostergewölbe mit Kugelkappen die letzteren nicht bis zum Scheitel des Gewölbes reichen lassen, so ist in der Grundlage für solche Anordnung nach dem in Art. 207 (S. 213) Gefagten zu verfahren. Hierbei ist nur, wie bei Fig. 394 soeben gezeigt, immer der Abstand des Kugelmittelpunktes von der wagrechten Kämpferebene gehörig in Rücksicht zu nehmen.

Das Bestreben, in den Umfangsmauern eines mit einem Klostergewölbe abgeschlossenen Raumes, über die Kämpferlinie desselben hinausgehend, Thür- oder Lichtöffnungen in thunlichst ungehinderter Weise anbringen zu können, ohne von eigentlichen Stichkappen oder von besonderen eingefügten Kugelkappen Gebrauch zu machen, hat zur Gestaltung von Klostergewölben geführt, deren cylindrische Laibungsflächen von den lothrechten Ebenen der Umfangsseiten des Raumes nicht mehr in geraden Kämpferlinien, sondern in aufsteigenden Bogenlinien geschnitten werden. Von den Kämpferlinien bleibt in der wagrechten Kämpferebene an den Ecken des Raumes nur ein Punkt übrig; die benutzten Gewölbflächen gehören gleichsam in ihrer Erweiterung einem Klostergewölbe an, welches für einen besonderen, eingebildeten Raum, dessen Grundriß von der Form des gegebenen Raumes abhängig gemacht wird, in seiner Gestaltung fest gelegt wurde. Aus diesem zu Hilfe genommenen Klostergewölbe bildet man das zur Anwendung kommende Gewölbe durch Abstumpfung der Laibungsflächen des ersteren, indem man das Ursprungsgewölbe von den Umfangsseiten des gegebenen Raumes schneiden läßt und die so entstandenen Schnittlinien als Stirnlinien für das eigentliche Gewölbe verwendet.

209.
Kloster-
gewölbe
mit
Abstumpfung.

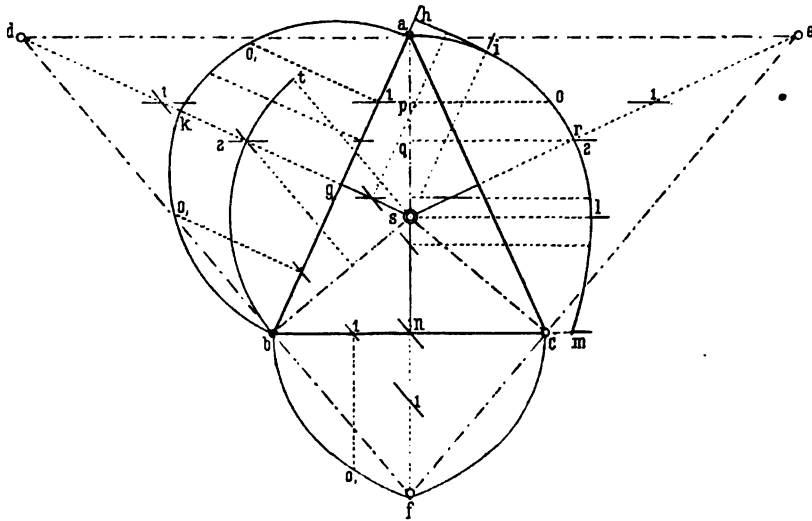
Unter Beibehaltung dieser Grundentwicklung lassen sich die »Klostergewölbe mit Abstumpfung« oder die »offenen Klostergewölbe« in mannigfachster, in architektonischer Beziehung auch günstiger und ansprechender Weise ausbilden. Ueber einem dreieckigen Raume ist z. B. eine zu dieser Gruppe von Gewölben gehörige Deckenconstruction des Sanctuariums der *Nôtre-Dame-Kirche* in Paris ausgeführt ¹⁷⁶⁾.

Zunächst möge die Erzeugung eines Klostergewölbes mit Abstumpfung auch hier unter Benutzung eines dreieckigen Raumes gezeigt werden.

Das Dreieck abc (Fig. 395) sei die gegebene Grundrißform. Vom Schwerpunkt s desselben gehen nach den Ecken a, b, c des Dreieckes die wagrechten Projectionen der Leitlinien des eigentlichen zu erzeugenden Klostergewölbes. Zieht man von s die gehörig erweiterten Lothe sd, se, sf , so läßt sich dem Dreiecke abc das Dreieck def umschreiben. Betrachtet man dieses Dreieck def als Grundriß eines

¹⁷⁶⁾ Siehe: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française etc.* Band 9. Paris 1868. S. 512.

Fig. 395.



Klostergewölbes, aus welchem durch Abstumpfung nach den schneidenden lothrechten Ebenen ab , bc , ca das wirkliche Klostergewölbe über abc entstehen soll, so sind sd , se , sf die wagrechten Projectionen der Gratlinien dieses Hilfgewölbes und dse , esf , fse die Grundrissprojectionen der cylindrischen Wangen desselben. Setzt man für eine Wange, z. B. für fse , ihre Leitlinie über sb als eine gesetzmässig gebildete krumme Linie, hier als einen Viertelkreis bt fest, so können, nachdem die Ausmittlung der Gratlinien und übrigen Leitlinien ganz entsprechend derjenigen bei einem gewöhnlichen Klostergewölbe für einen Raum def vorgenommen ist, die für das wirkliche Klostergewölbe über abc erforderlichen Mafnahmen getroffen werden. Mit Hilfe von Erzeugenden 11 , 22 ganz im Sinne von dem in Art. 205 (S. 305) Gefagten geführt, ergeben sich unter steter Benutzung der Ursprungs-Leitlinie bt in leichter und aus der Zeichnung zu erfahrender Weise die Stirnlinien akb , bfc u. f. f. als Ellipsenstücke, welche spitzbogenartig zusammentreffen; eben so z. B. die Leitlinie aol über as der Kappe asc und endlich die Scheitellinien der einzelnen Kappen wie hi über gs , lm über sn u. f. f., welche offenbar Theile der Gratlinien des Klostergewölbes über dem Ergänzungsraume def sind.

Wie das Bild in Fig. 396 ergibt, sind durch ein derart geschaffenes, abgestumpftes Klostergewölbe reichlich grofse Oeffnungen in den Umfangsmauern des Raumes möglich. Das Gewölbe selbst steigt von den Ecken desselben aus in leichter Form auf. Seine Laibungsflächen sind cylindrische Flächen, welche sich in den Scheitellinien der Kappen schneiden.

Ist die Grundrissfigur eines abgestumpften oder offenen Klostergewölbes ein regelmässiges Vieleck, so erfolgt das Festlegen der Gewölbfächen im Allgemeinen nach denselben Grundätzen, wie solche für das Dreieck angegeben sind.

In Fig. 397 ist ein regelmässiges Achteck als Grundrissprojection eines abgestumpften Haubengewölbes angenommen. Wird diesem Grundriss ein neues Achteck umschrieben, so ist z. B. das Dreieck bsd die Grundrissprojection einer Gewölbwange des ergänzenden Klostergewölbes, welches durch die in az geführte lothrechte Ebene des gegebenen Grundrisses abgestumpft wird.

Die über sz oder, da sz gleich sa ist, auch über sa stehende Leitlinie einer derartigen mafsgebenden Wange sei der beliebig gewählte, in a beginnende Kreisbogen k .

Fig. 396.

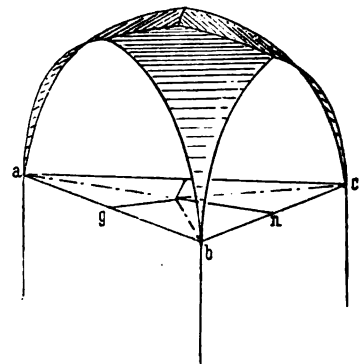
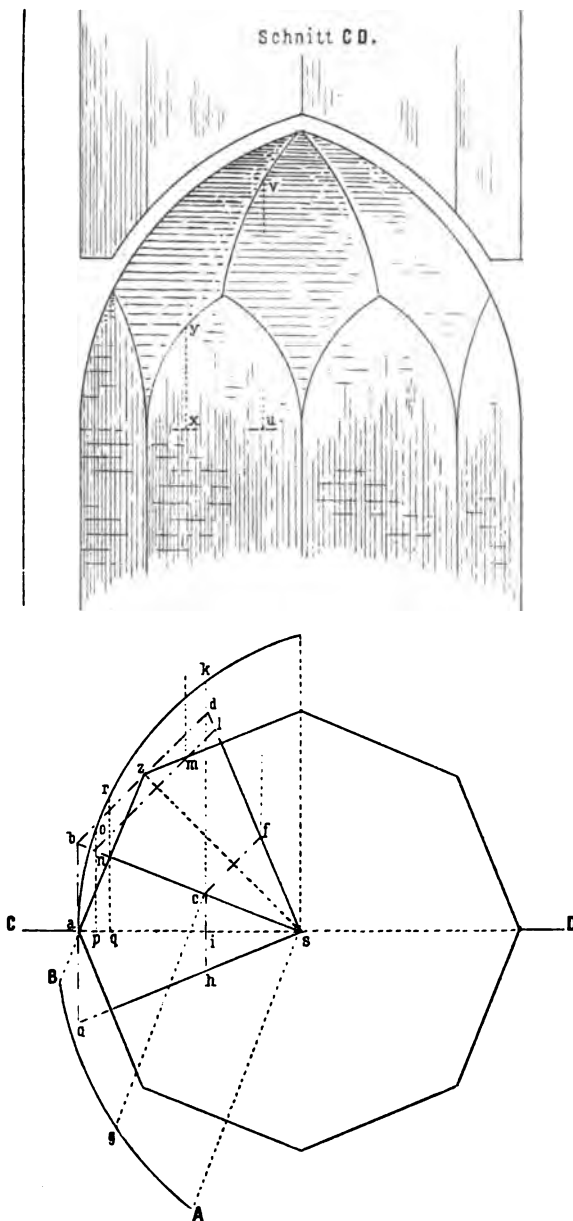


Fig. 397.



Nach demselben lassen sich ohne Weiteres die Gratlinien, z. B. über sn als AB , und ferner die hier elliptischen Spitzbogen entsprechenden Formen der Stirnbogen in bekannter Weise ermitteln, so weit dieselben für das wirkliche Kloster-, bezw. Haubengewölbe nothwendig werden. Wie aus der Zeichnung zu entnehmen, ist im Schnitte CD das Loth $uv = ik = cg$, ferner $xy = po$, während der Scheitel der Stirnbogen in einer Höhe gleich qr über der wagrechten Kämpferebene liegen muß. Die Laibungen des Haubengewölbes gehören hier durchweg cylindrischen Flächen an, deren Leitlinien durch einen und denselben Grundbogen k bestimmt sind.

Liegen mehrere gleiche Raumabtheilungen neben einander, welche durch Säulen- oder Pfeilerstellungen mit unter sich verbundenen Gurtbogen einem Gefammtraume angehören, so sind für jede Abtheilung gleichfalls offene Klostergewölbe ohne Schwierigkeit herzurichten. Solche in Gewölbjochen neben einander liegende, offene oder abgestumpfte Klostergewölbe zeigen in ihrer Gefammtheit große Aehnlichkeit mit den später noch zu erwähnenden Trichtergewölben.

Verbindet man bei einem Klostergewölbe abgestumpfte Wangen mit Wölbflächen nicht abgestumpfter Wangen, so entspringt wiederum eine besondere Gestaltung für eine massive Decke. Fig. 398 zeigt die Anordnung derselben als umgestaltetes, flachbogiges Klostergewölbe für einen rechteckigen Raum.

Zieht man von der wagrechten Projection s des Scheitels des Gewölbes in gesetzmäßiger Folge und Anordnung gerade Linien wie se , sf u. f. f., so können dieselben als die Grundrissprojectionen von Gratlinien des zu schaffenden Gewölbes angenommen werden. Behandelt man nun die Stücke, welche dem Theile $seaf$ entsprechen, als abgestumpfte Klostergewölbe, während die anretenden Theile wie t , i , v u. f. f. als gewöhnliche Klostergewölbwangen mit wagrechter Kämpferlinie bestehen bleiben, so erhält man das bezeichnete Gewölbe.

Nimmt man ef als wagrechte Projection einer Erzeugenden der Wange über $afse$ an, zieht darauf cd parallel zu ef , damit das Dreieck csd entsteht, so gilt dieses als Grundriss für das ergänzende Klostergewölbe jener Wange. Die Leitlinie ist der über as liegende, um m beschriebene flache Kreisbogen ab .

Nach diesem Grundbogen ergibt sich unter Anwendung der wagrechten Projectionen zugehöriger Erzeugenden wie ef und fp ; i , n und k ; q und t sofort die Leitlinie der Wange t als elliptischer Bogen pv .

Für denselben ist $op = gh$, $tu = qr$ und $sv = sb$. Auf gleichem Wege sind, wie Fig. 398 kenntlich macht, auch die Gratlinien über fs u. f. w., bzw. die Schnittlinien über af , bzw. ae u. f. f. und endlich auch Punkte wie i , der Leitlinie der Wange i zu finden. Die Kämpferlinien der gewöhnlichen Klostersgewölbwangen i , t u. f. f. liegen sämtlich in einer wagrechten Ebene, während die Kämpferpunkte der abgestumpften Wangen um eine Höhe gh unter denselben auftreten.

Fig. 398.

Schnitt A B.

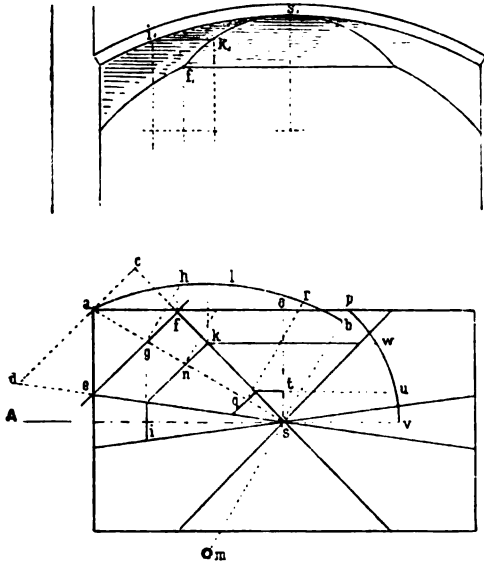
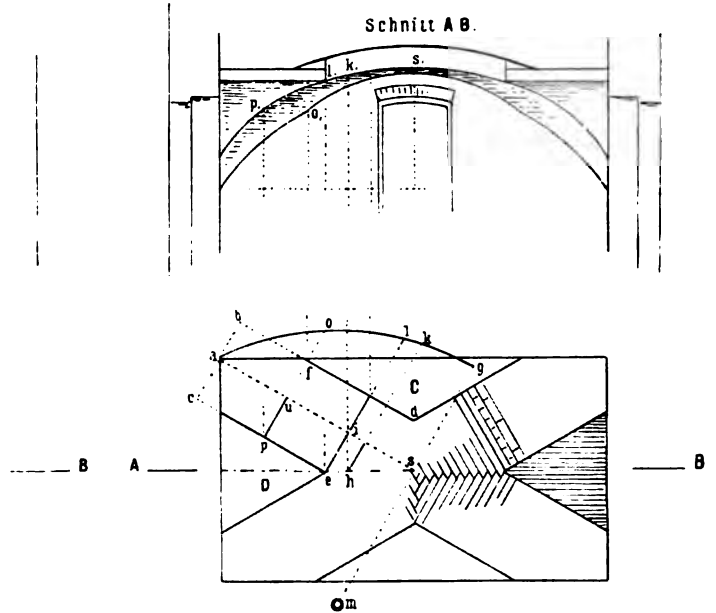


Fig. 399.

Schnitt A B.

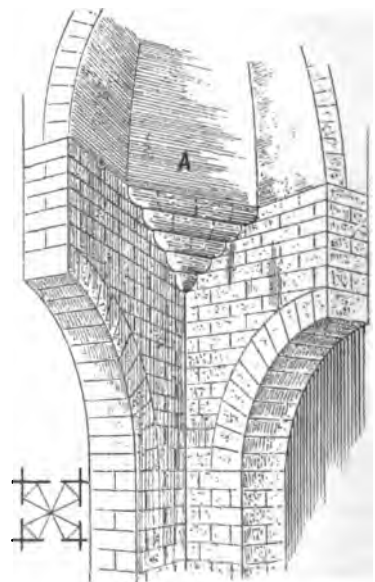


Wünscht man abgestumpfte Klostersgewölbe statt mit gewöhnlichen Wangentheilen mit Stichkappen zu verbinden, so kann eine solche Anordnung nach Anleitung von Fig. 399 wie bei C , D u. f. f. erfolgen. Beachtet man dabei noch das in Art. 133 (S. 164) für das Tonnengewölbe mit Stichkappen Gefagte, so geht beim Verfolgen der Zeichnung alles Nöthige für die Darstellung derartiger Gewölbanlagen hervor.

Sind Klostersgewölbe, wie schon früher bemerkt, im Allgemeinen am vorteilhaftesten über regelmäfsig gestalteten Grundrissen herzustellen, so lassen sich unter Beobachtung der für die Gestaltung von solchen Gewölben überhaupt gegebenen Entwicklungen auch bei diesen oder jenen gewählten Umformungen selbst Räume mit unregelmäfsig angelegtem Grundriss ohne erhebliche Hindernisse mit derartigen Decken versehen. Bei durchdachtem Zusammenfügen der einzelnen Wangen oder Kappen derselben kann selbst eine solche Decke in angenehmer Weise in die Erscheinung treten.

Ist die Grundrissform ein regelmäfsiges Vieleck von n Seiten und soll für dieselbe ein Klostersgewölbe mit $2n$ -Wangen angelegt werden, so ist

Fig. 400.



210.
Eck-
überführungen
etc.

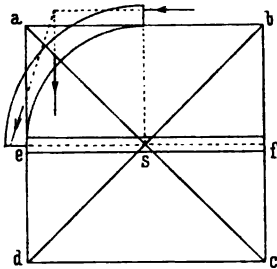
für die Kämpferlinien dieses Gewölbes dem gegebenen n -Eck ein $2n$ -Eck einzuschreiben. In folchem Falle haben n Seiten des eingeschriebenen Vieleckes ohne Weiteres keine unmittelbare Unterstützung durch lothrecht aufgeführte Umfangs-, bzw. Widerlagsmauern. Dieselben sind alsdann, wie Fig. 400 bei einer Wange A zeigt, durch Tragsteine oder Ueberkragungen zu schaffen. Statt dieser Ueberkragungen können auch in besserer und oft in wirkungsvollerer Weise besondere kleine Gewölbe als fog. Eck- oder Nischengewölbe, wovon bei der Ausführung der Klostergewölbe (unter 3) noch weiter gesprochen werden soll, in Anwendung kommen.

2) Stärke der Klostergewölbe und ihrer Widerlager.

Beim einfachen Klostergewölbe sind die Gewölbwangen Theile eines Tonnengewölbes. Zerlegt man jede Wange in einzelne Streifen, deren Begrenzungsebenen lothrecht und parallel zur Ebene der Scheitellinie der cylindrischen Wölbkappen ge-

212.
Gewölbstärke.

Fig. 401.



führt sind, so könnte jeder Streifen für sich als ein Theil eines Tonnengewölbes betrachtet und dem entsprechend statisch untersucht werden. Der Elementarstreifen se , bzw. sf (Fig. 401), dessen lothrechte Kräfteebene die Scheitellinien der zugehörigen Gewölbwangen enthält, ist offenbar ein Hauptstreifen, in welchem der grösste Gewölbschub herrscht, während in allen Nachbarstreifen, wenn von einer unzumuthigen oder übertriebenen Ueberlastung abgesehen wird, ein kleinerer Gewölbschub auftreten muß.

Bestimmt man die Stabilität und die Stärke des Hauptstreifens unter der üblichen Annahme, daß die Breite desselben gleich einer Längeneinheit sei, ganz nach den für die Bestimmung der Stärke der Tonnengewölbe in Kap. 9 (unter b) gegebenen Entwicklungen, so giebt man aus praktischen Gründen den sämtlichen Wölbstreifen der betreffenden Wange die gefundene Stärke. Würden bei einem Klostergewölbe über rechteckigen, vieleckigen oder auch über unregelmässigen Räumen sich solche Hauptstreifen von verschiedener Spannweite ergeben, so wird im Allgemeinen für das ganze Gewölbe diejenige Stärke beibehalten, welche der grösste Hauptstreifen beansprucht. Die auf Kuf gemauert gedachten Gewölbwangen legen sich über ihren Gratlinien gegen einander. Ihr Gewölbschub fließt in dem Gewölbkörper bis zum Widerlager fort, ohne daß die Ebene der Grate dadurch mit Gewichten belastet wird. Tritt an die Stelle dieser Ebene ein selbständiger Gratabogenkörper, was zuweilen der Fall, aber nicht durchaus nöthig ist, so bildet derselbe für sich ein besonderes Tonnengewölbe, nur beeinflusst durch sein Eigengewicht, bzw. durch seine etwa vorhandene Ueberlast. Hiernach würde also die Stärke solcher Gratabogen eben so zu berechnen sein, wie bei einem derart angeordneten, frei stehenden Tonnengewölbe. Werden die Gewölbwangen auf Schwalbenschwanzverband ausgeführt, so entsprechen die Stabilitätsuntersuchungen der dann entstehenden Elementarstreifen dem in Art. 181 (S. 277) Vorgetragenen. Auch bei diesem Verbands, welcher wohl bei flachen Klostergewölben, seltener oder gar nicht bei Gewölben mit entsprechend grosser Pfeilhöhe in Anwendung kommt, können die Schichten entweder stumpf in der Ebene der Grate zusammenstoßen oder besser über der Gratlinie auf Stich gegen einander treten.

Da die Gewölbstreifen, selbst wenn dieselben, wie es der Fall ist, sämmtlich eine gleiche Stärke erhalten, vermöge ihrer verschiedenen grossen Spannweite, welche von Null bis zur Weite eines Hauptstreifens in einer Gewölbkappe wächst, auf ihr Widerlager einen verschieden grossen Druck ausüben, so folgt, dass die sonst ganz im Sinne des in Art. 143 (S. 197) geführte Bestimmung der Widerlagsstärke für jeden Elementarstreifen ein anderes Mafs ergeben wird. Dieses Mafs würde gleichfalls von Null bis zur grössten Widerlagsstärke, welche der Hauptstreifen der zugehörigen Kappe nöthig macht, zunehmen. Trägt man die den einzelnen Streifen zukommenden Widerlagsstärken als Ordinaten der äusseren Begrenzungslinie des betreffenden Widerlagers auf, so erhält man eine krumme Linie und danach eine bestimmte Grundfläche des Widerlagskörpers. Für die praktische Ausführung eignet sich jedoch ein solches Widerlager nicht. Statt desselben ist besser ein Widerlagskörper mit rechteckiger Grundfläche anzuordnen. Derselbe muss aber das gleiche Mafs der Stabilität besitzen, wie das theoretisch ermittelte, nach ausen krummlinig begrenzte Widerlager.

Die krumme Linie aOb in Fig. 402, welche als äussere Begrenzung des Widerlagers einer Gewölbkappe gefunden ist, kann mit hinreichender Genauigkeit als eine Parabel mit dem Scheitel in O angesehen werden. Der Hauptstreifen möge die Widerlagsstärke w erfordern, so dass w die Pfeilhöhe jener Parabel ist. Diese Linie w scheidet die Parabelfläche in zwei gleiche, symmetrisch liegende Theile. Das Rechteck $abcd$, bezw. die Hälfte desselben $aefc$ soll dieselbe Stabilität besitzen, wie die Parabelfläche aOb , bezw. wie die Hälfte $aefO$ derselben.

Die noch unbekannte Breite dieser Rechtecksfläche sei z . Unter Benutzung der Bezeichnungen in Fig. 402 erhält man zunächst das Stabilitätsmoment \mathfrak{M} der Fläche $aefc$ in Bezug auf die Drehkante fc als

$$\mathfrak{M} = lz \frac{z}{2} = \frac{l}{2} z^2 \quad \dots \quad 222.$$

Für einen Elementarstreifen von der Breite y und der Länge dx im Abstände x von der Linie w der Parabelfläche $aefO$ ist das Stabilitätsmoment $d\mathfrak{M}$, in Bezug auf die Aufsenkante

$$d\mathfrak{M} = y \cdot dx \frac{y}{2} = \frac{y^2}{2} dx,$$

woraus durch Integration das Stabilitätsmoment \mathfrak{M} , der Parabelfläche $aefO$ folgt als

$$\mathfrak{M} = \frac{1}{2} \int_{x=0}^{x=l} y^2 \cdot dx \quad \dots \quad 223.$$

Nun ist aber für die Parabel Oa , deren Axe mit der Geraden w zusammenfällt,

$$\frac{w-y}{w} = \frac{x^2}{l^2}, \text{ d. h. } y = \frac{w}{l^2} (l^2 - x^2).$$

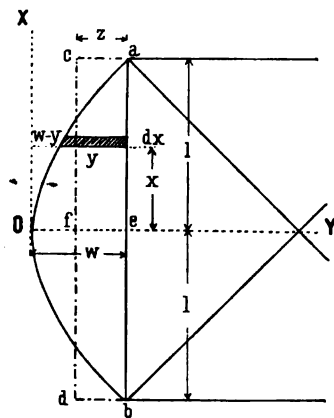
Setzt man diesen Werth in Gleichung 223, so ergibt sich

$$\mathfrak{M} = \frac{w^2}{2l^4} \int_{x=0}^{x=l} (l^2 - x^2)^2 dx \quad \dots \quad 224.$$

Da nun $\mathfrak{M} = \mathfrak{M}$, sein soll, so wird den Gleichungen 222 u. 224 zufolge

$$z^2 = \frac{w^2}{l^5} \int_{x=0}^{x=l} (l^2 - x^2)^2 dx,$$

Fig. 402.



woraus nach Ausführung der Integration

$$z^3 = \frac{8}{15} w^3$$

oder schliesslich

$$z = w \sqrt[3]{\frac{8}{15}} = 0,7303 w \quad 225.$$

zu bestimmen ist.

Hiernach erscheint die Breite z nahezu gleich $\frac{3}{4} w$, d. h. die Stärke des Widerlagers eines Klostergewölbes beträgt etwa drei Viertel der Stärke des Widerlagers eines Tonnengewölbes von gleicher Leitlinie, Gewölbstärke und Belastung, wie dasselbe durch den Hauptstreifen in der Gewölbwange gegeben ist. Dasselbe Ergebniss ist bereits von *Rondelet* durch Versuche an Modellen fest gestellt.

Treten bei Klostergewölben Vereinigungen cylindrischer Wangen mit Kugelhappen auf, so sind letztere einer besonderen Stabilitäts-Untersuchung zu unterziehen. Wie der Weg zur Prüfung derartiger Kappen einzuschlagen ist, wird später bei der Besprechung der Stärke der Kuppelgewölbe erörtert werden.

Da die Wangen eines Klostergewölbes einem Tonnengewölbe angehören, so lassen sich die in Art. 140 (S. 193) für das Tonnengewölbe angegebenen empirischen Regeln auch für das Klostergewölbe im Allgemeinen verwenden. Als maßgebendes Gewölbstück ist der Hauptstreifen, dessen lothrechte Ebene die Scheitellinie der am weitesten gespannten Gewölbwangen enthält, in Betracht zu ziehen und die hierfür empirisch ermittelte Gewölbstärke in der Regel für die Stärke sämtlicher Wangen entweder ohne Weiteres oder unter besonderen Verhältnissen nur als Anhalt für eine strengere statische Untersuchung zu Grunde zu legen.

213.
Empirische
Regeln
für die
Gewölbstärke.

Ist für den erwähnten Hauptstreifen, bzw. für die Hauptstreifen jeder einzelnen Wange nach den in Art. 145 (S. 208) für Tonnengewölbe mitgetheilten empirischen Regeln die Widerlagsstärke berechnet, so werden für die mit rechteckiger Grundfläche angeordnete Widerlagsmauer der zugeordneten Gewölbwange drei Viertel dieser Stärke angenommen. Bei quadratischen Räumen mit einer Seitenabmessung bis zu 6^m kann die Stärke der Widerlagsmauern bei sorgfältiger Ausführung bis auf zwei Drittel der Widerlagsstärke eines dem Hauptstreifen gleichen Tonnengewölbes herabgesetzt werden.

214.
Empirische
Regeln
für die
Widerlags-
stärke.

Klostergewölbe mit großer Pfeilhöhe, besonders die Haubengewölbe, erhalten, abgesehen von etwaigen Ausmauerungen der Zwickel über besonders angelegten Gratabogen, in den meisten Fällen keine besondere Ueberlast, weder durch darauf ruhende Balkenlagen, noch durch hierauf angebrachte Fußböden. Flache Klostergewölbe dagegen können ähnliche Belastungen, wie Kappengewölbe, erfahren. Als dann sind nach den in Art. 177 (S. 264) gemachten Angaben die Abmessungen der Widerlagsstärken bei diesen Klostergewölben am besten ohne Herabminderung gleich solchen bei Kappengewölben zu wählen.

3) Ausführung der Klostergewölbe.

Die Gestaltung der Klostergewölbe weist schon darauf hin, dass dieselben, als vorzugsweise in ihren Wangen von Tonnengewölben herrührend, auch in ihrer Ausführung sich nach derjenigen der Tonnengewölbe zu richten haben. Sämtliche Hauptregeln, welche in dieser Beziehung in Kap. 9 (unter c) für das Tonnengewölbe gegeben sind, behalten auch für das Klostergewölbe ihre Geltung. Aus-

215.
Allgemeines.

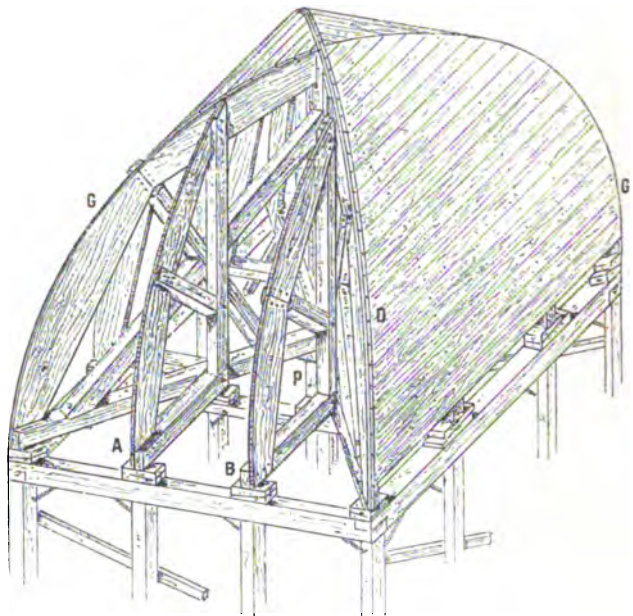
nahmen hiervon treten nur bei den in die Klostergewölbkörper eingefügten Kugelhappen ein. Solche Kappen unterliegen im Allgemeinen der Ausführungsweise von Kuppelgewölben, worüber später entsprechende Mittheilungen gemacht werden sollen.

Die Hauptbaustoffe für Klostergewölbe sind wiederum Backstein, Quader oder dünn-schichtige, lagerhafte Bruchsteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein, und das hierüber beim Tonnengewölbe in Art. 150 (S. 218) Gefagte ist bei Klostergewölben gleichfalls zu beachten.

216.
Lehrgerüste.

Das gewöhnliche Klostergewölbe wird auf einer Unterschalung, welche auf dem Lehrgerüste ruht, ausgeführt. Die Lehrbogen dieses Gerüsts sind jedoch in Rücksicht auf die in den Graten zusammentreffenden Gewölbwangen in anderer Weise aufzustellen, als beim geraden Tonnengewölbe. Nach Fig. 403 sind die sog. Gratbogen oder Diagonalbogen *G*, bezw. *D* von den sog. Schift- oder Wangenbogen *A*, *B* zu unterscheiden. Die

Fig. 403.



Gratbogen treten im Scheitellothe des Gewölbes kreuzförmig zusammen. Liegen die Gratlinien des Gewölbes in einer und derselben lothrechten Ebene, so folgt ein ganzer, für sich bestehender Diagonalbogen *D* dieser Ebene, während die übrigen Gratbogen *G*, ihrer Durchkreuzung mit dem Hauptlehrbogen halber, aus zwei Hälften des Hauptlehrbogens bestehen. Der Kreuzungspunkt dieser Lehrbogen ist durch einen kräftigen Pfosten oder Mäkler *P* zu unterstützen; auch ist für eine Sicherung der Mittelpfosten der eigentlichen Lehrbogen gegen Ausweichen oder Drehen durch Eisenklammern, sog. Stichklammern, zu sorgen, welche nach der Ausführung des Gewölbes wieder leicht beseitigt werden können.

Die Schiftbogen *A*, bezw. *B* legen sich vom Gewölbkämpfer aus gegen die Gratlehrbogen; ihre obere Begrenzungslinie ist nach der Ursprungs-Leitlinie, welche der Gestaltung des Klostergewölbes zu Grunde gelegt war, leicht fest zu legen. Für jede Wange ist die Zahl dieser Schiftbogen so zu bestimmen, daß die freie Länge der darüber angebrachten Schalbretter 1,0 bis 1,5 m beträgt. Die Auflagerung der sämtlichen Lehrbogen an den Endpunkten ihrer Sohle oder Schwelle erfolgt in gleicher Weise, wie bei den Ausrüstungsvorrichtungen der Tonnengewölbe (siehe Art. 155, S. 224). In der Zeichnung sind Doppelkeile als Lagerungen angenommen.

Die Schalung besteht meistens aus einem Bretterbelag von 3 bis 5 cm Stärke; die einzelnen Bretter treten über den Gratbogen, nach der Gratlinie gefugt, stumpf zusammen. Ueber den Grat- und Schiftbogen findet ein Heften der Bretter mit

Drahtstiften statt, um auch hierdurch die unverrückbare Stellung der betreffenden Bogen in gewissem Grade mit zu sichern.

Für flache Klostergewölbe benutzt man zu den Gratbogen und Schiffbogen einfache Wölbscheiben, wie solche bei Kappengewölben gebräuchlich sind.

Klostergewölbe mit Kugelkappen erhalten nur eine Schalung der Lehrgerüste, so weit die eigentlichen Gewölbwangen in Frage kommen. Die Kugelkappen werden dazwischen aus freier Hand eingewölbt unter etwaiger Benutzung einer Lehre oder einzelner dünner Wölbscheiben, deren obere Begrenzung der Kugelfläche entsprechend geschnitten ist.

Abgestumpfte oder offene Klostergewölbe, deren Wangen, wie in Art. 209 (S. 315) gezeigt ist, cylindrische Laibungsflächen besitzen, erhalten zweckmäfsig eine geschlossene Unterschalung.

Wird für die aus Backsteinen auszuführenden Klostergewölbe der Verband auf »Kuf« gewählt, so laufen die Lagerfugenkanten der Lage der erzeugenden Geraden der cylindrischen Wölbsflächen gemäfs parallel mit den Kämpferlinien, so dafs die gefammte Anordnung mit derjenigen eines Tonnengewölbes übereinstimmt. Läßt man die Gewölbwangen über den Gratlinien oder Kehlen stumpf zusammentreten, so zeigt sich die Kehllinie als Fuge. Soll diese durchlaufende Fuge vermieden werden, so läßt man die einzelnen Schichten über der Gratlinie im Verbande wechselweise übergreifen. Hierdurch entsteht allerdings der Uebelstand, dafs die übergreifenden Ecktheile der Backsteine, welche zwei sich durchdringenden Cylinderschalen angehören, zur Aufnahme der Kehllinie etwas zugehauen werden müssen, wenn nicht bei Gewölben, die keinen Putzüberzug erhalten sollen, bei reicherer Ausführung besondere Formsteine für die übergreifenden Stücke genommen werden. Müssen über den gewöhnlichen Klostergewölben Balkenlagen hergerichtet werden, welche innerhalb ihrer freien Länge noch einer Unterstützung durch Balkenträger bedürfen, so ist, da diese Träger niemals auf dem Mauerwerk der Gewölbwangen ruhen sollen, für diese Gewölbe die Ausführung selbständiger, genügend starker Grate als Gratbogen erforderlich, welche dann in geeigneter Weise durch Ausmauerung ihrer Zwickel oder durch Aufmauerung einzelner Pfeiler eine Stütze, bzw. eine Auflagerung für die erwähnte Balkenlage oder deren Träger gewähren können. Diese Gratbogen sind als für sich bestehende Tonnengewölbe regelrecht auszuführen. Die Gewölbwangen setzen sich unmittelbar stumpf gegen diese Grate.

Bei der Einwölbung der Wangen auf »Schwalbenschwanz-Verband« werden die bei diesem Verbande in Art. 200 (S. 298) gegebenen allgemeinen Regeln befolgt. Zweckmäfsig wird jedoch im Besonderen den einzelnen Wölbsstreifen eine solche Richtung gegeben, dafs die Lagerflächen derselben in Normalebenen zu den Kehllinien des Gewölbes liegen, gleichgiltig, ob besondere Gratbogen zur Ausführung kommen oder nicht.

In Fig. 404 sind in mnk und $un k$ die wagrechten Projectionen der inneren Lagerfugenkanten der in k zusammentretenden Wölbsstreifen für eine beliebige Normalebene N der Kehllinie bf bestimmt. Der Grundriß des mit einem Klostergewölbe zu überspannenden Raumes A ist hier der Einfachheit wegen quadratisch gewählt. Die Ursprungsleitlinie oder der Grundbogen des Gewölbes ist als ein um s , beschriebener Viertelkreis cd fest gesetzt. Die Kehllinie wird demnach eine Vierteilellipse mit den Halbachsen eb , ef und den Brennpunkten F , F . Dieselbe ist in einer zur Gratebene parallelen lothrechten Ebene B gezeichnet. Durch einen beliebigen Punkt k des Gratbogens ist eine Normalebene N mit den Spuren kq und qy geführt.

Diese Normalebene schneidet die lothrechte Projection gf des Grundbogens cd im Punkte r , also in einem Grenzpunkte der nach k führenden Lagerkante eines Wölbsstreifens. Die wagrechte Projection

217.
Kloster-
gewölbe
aus
Backsteinen.

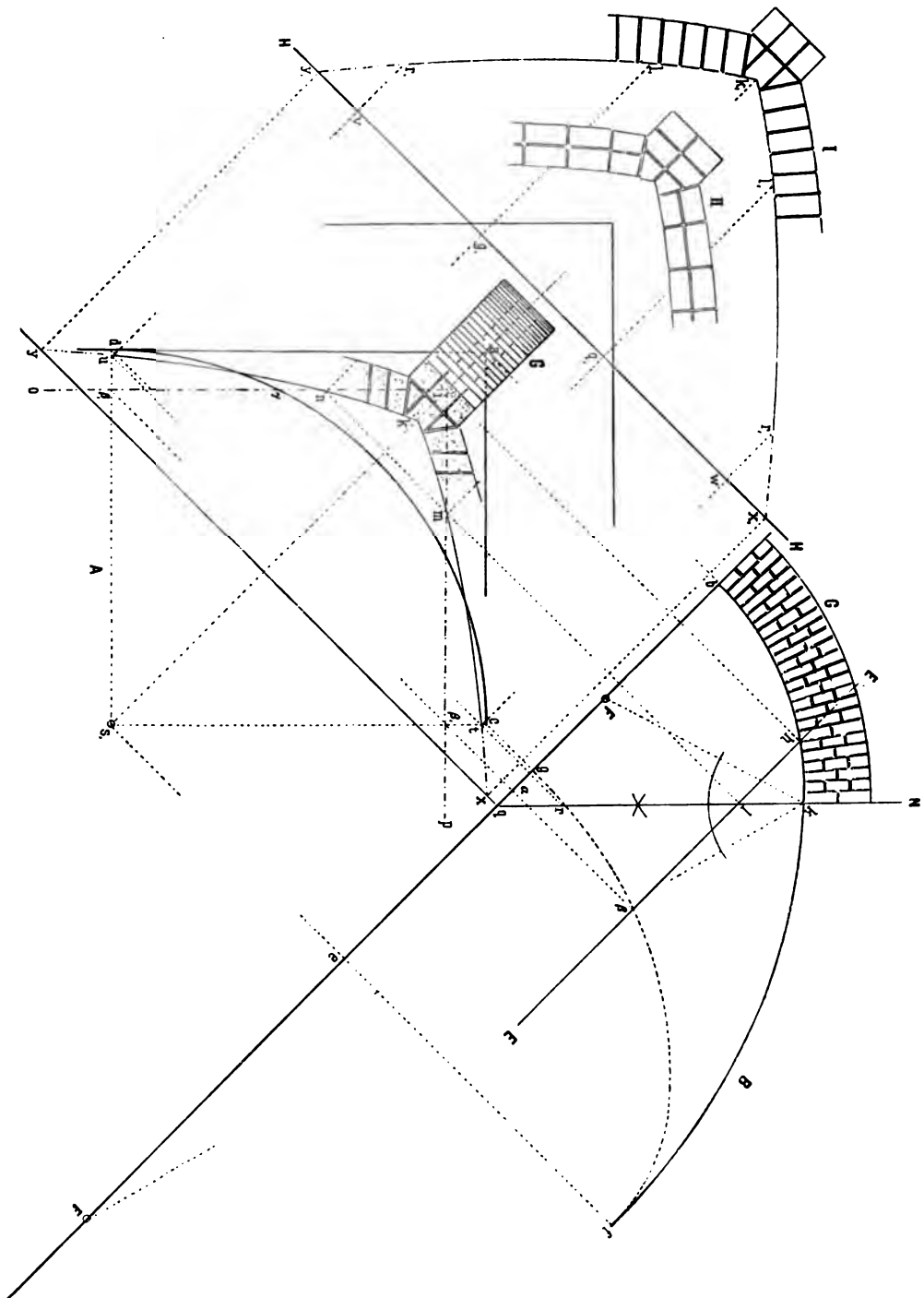


Fig. 404.

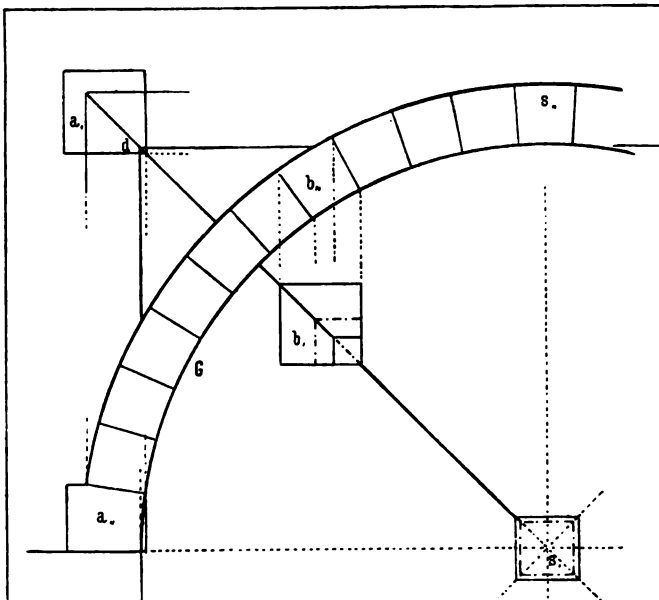
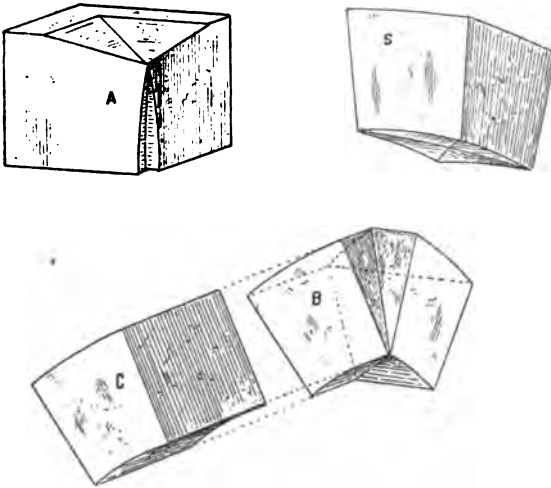
dieses Punktes ist der auf der Grundrissprojection s, c der Leitlinie cd gelegene Punkt t . Führt man durch die Ebene B und rechtwinkelig hierzu eine beliebige, zwischen den Grenzpunkten r und k gelegene wagrechte Ebene EE , so schneidet dieselbe die Normalebene in dem durch l gehenden Lothe auf der Ebene B und die Gewölbwangen in geraden Erzeugenden derselben, welche, wie aus der Zeichnung zu entnehmen, als ip , bzw. io mittels der Punkte β , in ihrer Grundrissprojection leicht angegeben werden können.

Die wagrechten Projectionen m und n der Durchstoßpunkte des in l befindlichen Lothes auf B mit den Gewölbwangen liegen auf diesen Erzeugenden und ergeben sich somit wiederum als Punkte der gefuchten wagrechten Projection der Lagerkante, welche dem Normalschnitte N angehört.

Vervollständigt man nach diesen Anleitungen die Linienzüge tmk , bzw. unk , so erhält man die gefuchten Lagerfugenkanten eines Wölbstreifens für eine Normalebene N . Wird dieses Verfahren wiederholt für alle Wangen in Anwendung gebracht, so ergibt sich die Anordnung der Wölbstreifen für den Schwalbenschwanz-Verband.

Nachdem die Projectionen der Lagerkanten der inneren Wölbfläche für eine Schicht ermittelt sind, läßt sich nach der Darstellung I die wirkliche Gestalt x, k, y , derselben finden, wobei z. B. q, l , bzw. g, l , gleich ql sein muß. Sollen Gratbogen eingeführt werden, so zeigen die beiden Schichtenanordnungen I und II den anzuwendenden Backsteinverband. Die Wölbstreifen setzen sich hierbei mit senkrecht zu k, l , gerichteten Fugen an.

Fig. 405.



Dienen Bruchsteine als Wölbmaterial für Klostergewölbe, so ist unter Beobachtung des Verbandes auf »Kuf« wie bei Backsteinmaterial zu wölben. Im Uebrigen ist das in Art. 169 (S. 245) für Tonnengewölbe aus Bruchsteinen Vorgetragene auch hier zu berücksichtigen.

Bei Klostergewölben aus Quadern wird der Fugenschnitt für die Lager- und Stoßfugenflächen der einzelnen Wölbsteine dem Verbands auf »Kuf« zugeordnet. Die Wölbquader der Wangen sind einfache Tonnengewölbfsteine. Besondere Gestaltung erfordern die Anfänger an den Ecken des Gewölbes, die Gratsteine und der Schlussstein desselben.

In Fig. 405 ist für eine quadratische Grundfläche der Steinfugenschnitt für ein Klostergewölbe mit einem Viertelkreis G als Grundbogen gegeben. Die Ermittlungen der Begrenzungsflächen der einzelnen angeführten Steine lassen sich

218.
Kloster-
gewölbe
aus
Bruchsteinen.

219.
Kloster-
gewölbe
aus
Quadern.

durch einfache Anwendungen der darstellenden Geometrie bewirken. Dieselben gehen aus der Zeichnung genügend hervor.

A , gebildet nach feinen Projectionen $a, a_{,,}$, ist der Anfänger; B , ermittelt nach den Projectionen $b, b_{,,}$, ist ein Gratstein. Bei demselben sind fortlaufende Ansätze, welche noch weiter in die Gewölbkappe reichen würden, absichtlich fortgelassen und dieserhalb die Stosfugenflächen einfach entsprechend den Lagerfugenflächen abgegrenzt, wie solche bei $b_{,,}$ durch die Theilung der Gewölbwangen entstehen. Etwa weiter in die Wangen fortgeführte Ansätze liefern einen hakenförmigen Stein von meistens bedeutenden Abmessungen. Bei der Bearbeitung dieser Werkstücke muß zur Bildung des Hakens ein erheblicher Theil des Materials als überflüssig fortgenommen werden, was bei dem hier gegebenen Fugenschnitt vermieden wird. C ist ein gewöhnlicher Wölbstein der Wange und S endlich der Schlufsstein, dessen Projectionen in s , und $s_{,,}$, vorhanden sind.

Für ein Kloftergewölbe aus Schnittsteinen über einem rechteckigen Raume gelten in den Hauptzügen dieselben Anordnungen für den Fugenschnitt, wie bei dem vorhin behandelten Gewölbe. Die Gratsteine bedürfen jedoch einer besonderen Aufmerksamkeit.

Bei einem rechteckigen Raume (Fig. 406) sind die Leitlinien der unmittelbar neben einander stehenden Gewölbwangen von einander verschieden. Ist der Grundbogen der schmaleren Wange hier ein Viertelkreis, so ergibt sich für die Leitlinie der antretenden breiteren Wange eine Viertelellipse und weiter auch die Kehllinie als die Viertelellipse $o_{,,} s_{,,}$.

Nimmt man nun aus praktischen Gründen für alle Wangen dieselbe Gewölbstärke und ausserdem auch für die Theilweiten der ungeraden Anzahl der Wölbsteine jeder Wange möglichst gleiche Abmessungen an, so werden die den Theilpunkten der Wöblinie von je zwei zusammengefügt Wangen zukommenden Lagerkanten, welche parallel mit den Kämpferlinien laufen müssen, im Allgemeinen nicht in gemeinschaftlichen, der Reihe nach auf einander folgenden Punkten auf der Gratlinie os zusammentreffen.

Um dennoch geeignete und nicht sehr schwierig zu bearbeitende Gratsteine zu erhalten, an welchen spitze Ecken und Schneiden so viel als irgend möglich zu vermeiden sind, kann die Anordnung des Fugenschnittes für diese Steine in der folgenden Weise vorgenommen werden.

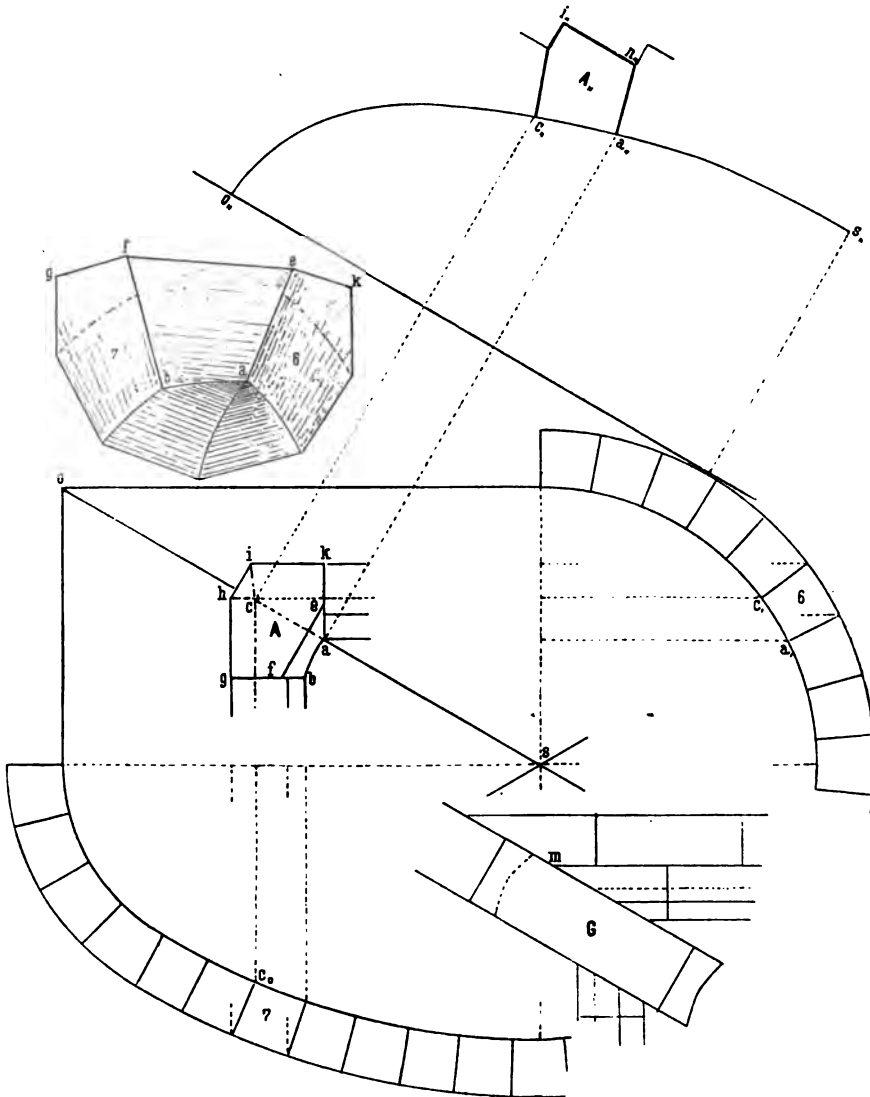
Sind die Theilungen für die Wölbsteine an der Ursprungs-Leitlinie des Kloftergewölbes bestimmt, so mögen die Lagerkanten eines beliebigen Steines δ die Gratlinie os in der Grundrissprojection in den Punkten a und c schneiden. Sind ferner auch die Theilungen der nach dem Grundbogen ermittelten Wöblinie der antretenden Gewölbwange für die Wölbsteine eingetragen, so mögen die Lagerkanten eines Steines γ denjenigen des Steines δ in ihren Schnittpunkten auf der Gratlinie os am nächsten liegen, jedoch ganz abgesehen davon, daß, wie in der Zeichnung sich ergibt, der Punkt c für die Lagerkanten c_1 bzw. c_0 bereits ein gemeinschaftlicher Schnittpunkt ist. Von dem am nächsten nach dem Scheitelpunkte s zu liegenden Schnittpunkte a aus wird eine Normalebene $a_{,,} n_{,,}$ für die Gratlinie $o_{,,} s_{,,}$ geführt und nach dem bei Fig. 404 gezeigten Verfahren die Grundrissprojection ab der Schnittlinie dieser Ebene mit der Wange, welche die nach o zurückliegende Lagerkante b des Steines γ enthält, so weit ermittelt, bis dieselbe diese Lagerkante in b trifft. Führt man durch a und b parallel zu der wagrechten Projection der Scheitellinien der zusammentreffenden Wangen lothrechte Ebenen ak und bg , so enthalten dieselben die Stofs- oder Stirnflächen des Gratsteines A . Die Begrenzungen dieser Flächen ergeben sich weiter durch die Lagerkanten ki , bzw. gh , welche den Rückenflächen der Steine δ und γ angehören und durch die Stirnflächen dieser Steine selbst. Die Stofsfläche $abfe$ ergibt sich aus dem angenommenen, von den Punkten $a_{,,}$, bzw. $c_{,,}$ abhängigen lothrechten Schnitte $A_{,,}$ des in der Gratebene liegenden Gratsteines, durch Benutzung der durch $n_{,,}$ gehenden wagrechten Schnittlinie am Rücken des Gratsteines, welche zugleich senkrecht auf der Gratebene steht. Die Linie ef ist die wagrechte Projection jener Schnittlinie. Genau so würde für den Punkt c vorzugehen sein. Hierfür ist durch $c_{,,}$ der Gratlinie eine Normalebene gelegt. Die wagrechte Projection ihrer Schnittlinie mit der Wange, welche die Lagerkante c_0 enthält, beschränkt sich hier nur auf einen Punkt c . Die Stofsfläche ch_i ergibt sich nach der Schnittfläche $A_{,,}$ ohne Weiteres.

Hätte der Schnittpunkt der Lagerkante von c_0 mit der Gratlinie os eine nähere Lage nach s zu aufgewiesen, als der Schnittpunkt c der Lagerkante c_1 , so würde die wagrechte Projection der Schnittlinie der Normalebene, welche nun dem Gratpunkt, der von c_0 geliefert wäre, angehören müßte, für die Bestimmung des betreffenden Fugenschnittes maßgebend geworden sein.

Im Bilde ist die Form des Gratsteines A noch weiter verdeutlicht; auch sind in demselben die Stoßflächen der Wölbschichten 6 und 7 angegeben. Ein Fugenschnitt, wie bei m und G ist zu verwerfen.

Tritt der Fall ein, daß gegen einen und denselben Gratstein von einer Seite allein oder gar von zwei Seiten zwei Wölbschichten geführt werden müssen, so werden

Fig. 406.



dadurch die grundlegenden Bestimmungen für den Fugenschnitt nicht geändert. Die gekennzeichneten Normalenprofile sind alsdann nur jedesmal für die beiden äußersten Lagerkanten der antretenden Wölbschichten in Anwendung zu bringen.

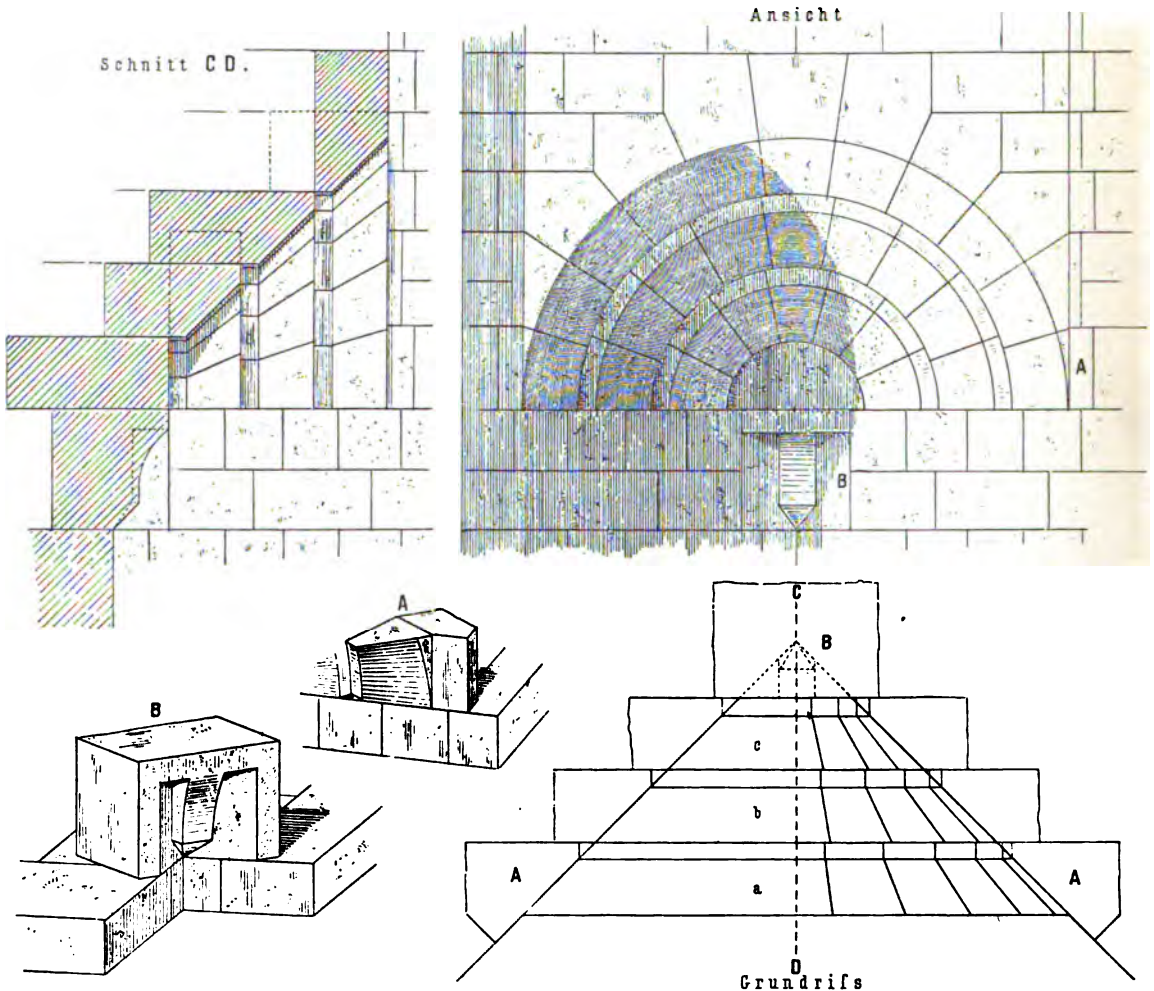
Für das Versetzen der Quader, die Mörtelung und die sonstigen Handhabungen, welche sich dabei geltend machen, kann auf Art. 170 (S. 246) verwiesen werden.

220.
Eck-
überführungen.

Sind für einzelne Wangen eines Klostergewölbes die in Art. 210 (S. 318) erwähnten Ecküberführungen notwendig, so werden dieselben ausser der in Fig. 400 (S. 318) angegebenen Anordnung aus über einander lagernden kräftigen Tragfeinen oft weit zweckmässiger durch besondere Eck- oder Nischengewölbe gebildet.

Am zweckmässigsten wird für diese Gewölbe Quadermaterial unter Anwendung eines geeigneten Fugenschnittes benutzt.

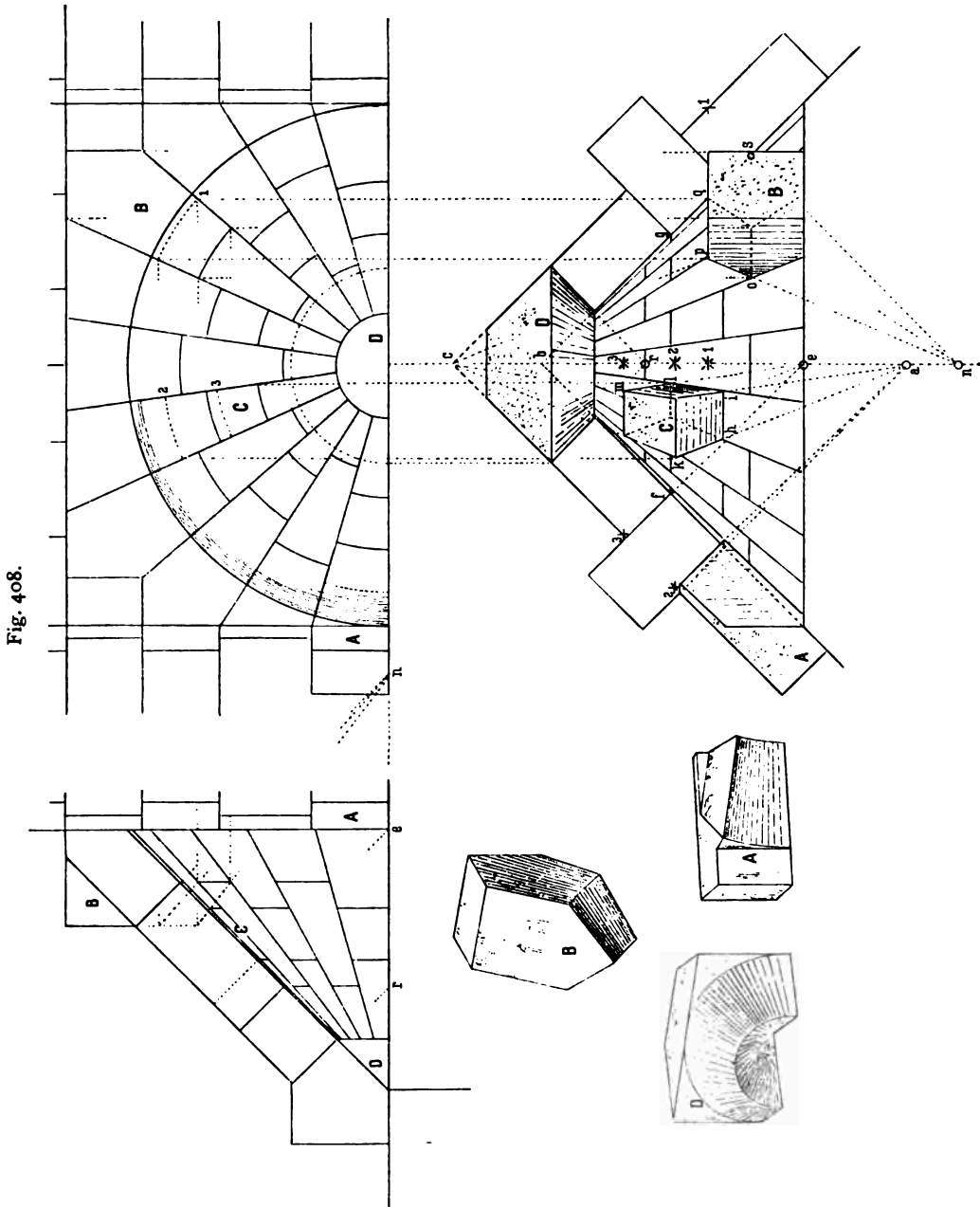
Fig. 407.



Im Wesentlichen treten diese Ecküberführungen als Kegel- oder als Halbkugelgewölbe mit oben wagrecht abgeglichenem Stirnbogen auf.

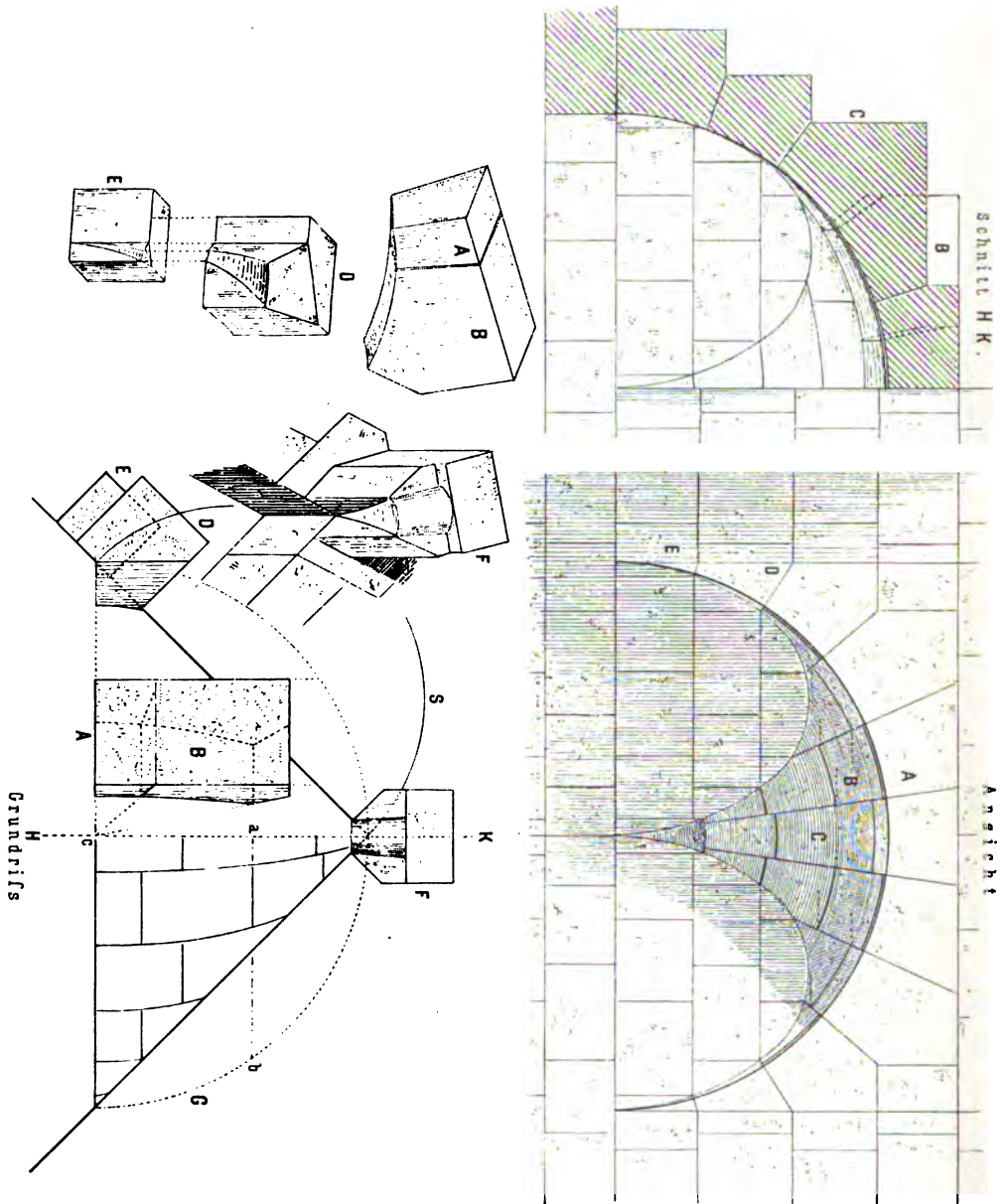
Das aus einzelnen Gewölbzonen oder Quarten hergerichtete einfache kegelförmige Nischengewölbe ist in Fig. 407 dargestellt und hieraus in seiner Anlage und in seinem Fugenschnitte deutlich zu erkennen. Von Wichtigkeit ist eine geeignete Durchbildung des Anfängers oder des sog. Auges *B*, von welchem aus die Ecküberführung zu beginnen hat. Für dieses Auge wird stets ein hinlänglich großes Werkstück benutzt.

Das an sich weniger einfache, vollständige Kegelgewölbe ist als Nischengewölbe in feinem Steinverbande nach Fig. 408 anzuordnen. Die Lagerfugenflächen, welche von der Theilung des Stirnbogens abhängig gemacht werden, laufen gegen das Auge *D*. Sie gehören Ebenen an, welche erweitert sich sämmtlich auf der Kegel-



axe schneiden. Die Stoßfugenflächen dagegen gehören besonderen Kegelflächen an, deren Leitlinien Schnittlinien sind, welche durch Ebenen, parallel zur Stirnlinie des Nischengewölbes geführt, auf der Laibungsfläche dieses Gewölbes hervorgerufen werden und deren Erzeugende gerade Linien sein sollen, welche senkrecht zur Kegelfläche des Nischengewölbes stehen.

Besitzt das Gewölbe eine gleichmäßige Stärke und sind b und c die Spitzen der Kegelflächen der inneren Laibung und des Rückens, so sind bs und cs parallele Erzeugende in der Kämpferebene des Kegelgewölbes. Der Abstand sr dieser Erzeugenden ist der Gewölbstärke gleich. Soll nun z. B. die Stosfugenfläche opq für die durch o ziehende Stosfugenkante bestimmt werden, so führt man durch o parallel zur Stirnebene in der Richtung os einen lothrechten Schnitt; alsdann enthält dieser die Stosfugenkante. Errichtet man in s das Loth auf der Erzeugenden bs , so trifft dasselbe die Kegelaxe im



Punkte n . Erweitert man ns bis r der Erzeugenden cs der Rückenfläche, legt man durch r wieder eine parallele Ebene zur Stirnebene e des Gewölbes, so giebt rr die Lage der Stosfugenkante auf der Rückenfläche in der Grundrissprojection an. Da der Punkt q mit Hilfe des Kreisbogens vom Halbmesser rr und der Aufrissprojection entsprechend zu finden ist, so bleibt nur noch übrig, durch n und o , bzw. durch n und q gerade Linien zu ziehen, um die Grundrissprojection der Stosfugenfläche opq zu erhalten. Aufriss und Seitenprojection ergeben sich auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege. Nach dem-

felben Verfahren sind die Punkte a für die Stoßfugenfläche hik , e für die Stoßfugenfläche lm des Steines C und endlich r für die kegelförmige Stoßfugenfläche des Auges D ermittelt. Die im Bilde vorgeführten Steine A , B und D lassen die ihnen zu gebende Form noch näher erkennen.

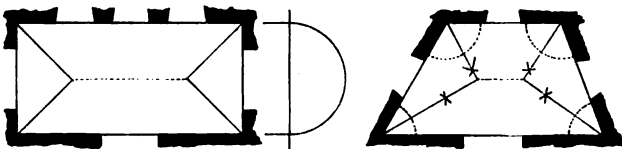
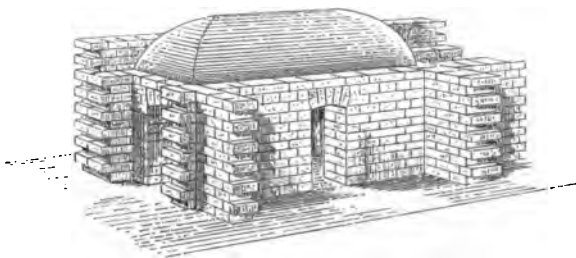
Das halbkugelförmige Nischengewölbe mit abgechnittenen Seiten ist in Fig. 409 vorgeführt. Bei demselben ist G der größte Kreis einer Kugelfläche, welcher das Nischengewölbe in seiner Laibungsfläche entnommen ist. Der Seitenbogen S ist ein Halbkreis mit dem Durchmesser gleich der schrägen Länge der Eckübertragung. Der Steinfugenschnitt hat den Bedingungen zu entsprechen, daß die sämtlichen Lagerfugenflächen Meridiananschnitte der Halbkugel sind, während die Stoßfugenflächen Kegelflächen werden sollen, die sämtlich den Mittelpunkt c der Kugelfläche zur Spitze haben. Die Leitlinien dieser Kegelflächen sind Parallelkreise, welche, wie in der Grundrissprojection z. B. als ab , die Stoßfugenkanten enthalten. Nach diesen einfachen Forderungen ist an der Hand von Fig. 409 die Gestaltung der einzelnen Wölbsteine, wovon die wichtigsten besonders noch perspectivisch gezeichnet sind, ohne Schwierigkeiten möglich.

b) Muldengewölbe.

Das Muldengewölbe ist ein längeres Tonnengewölbe mit an den Stirnseiten vorgelegten Wangen eines Klostersgewölbes. Dasselbe entsteht, wie Fig. 410 angiebt, durch eine einfache Verbindung der beiden genannten Gewölbformen. Ein gemeinschaftlicher Anfallspunkt der beiden Stirnwangen oder Walme fehlt. Statt eines

221.
Gestalt.

Fig. 410.



Scheitelpunktes, wie beim Klostersgewölbe, tritt eine mehr oder weniger lange Scheitellinie des eigentlichen Tonnengewölbes auf. Die Anschlußpunkte der Kehl- oder Gratlinien der Stirnwalme sind stets die Endpunkte dieser Scheitellinie, gleichgiltig, ob die schmalen Stirnseiten rechtwinkelig oder schiefwinkelig zu den längeren, einander parallelen Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes stehen.

Je nach der für die Stirnwalme gewählten Weite sind diese Anschlußpunkte fest zu

legen. Die Grundrissprojectionen der Kehllinien sind gerade Linien, welche von den Ecken der Kämpferlinien nach den Anschluß- oder Anfallspunkten der Scheitellinie gezogen werden. Meistens sind bei einem Rechteck und auch bei einem Trapez als Grundriss die wagrechten Projectionen der Kehllinien Halbirungsfstrahlen der Winkel an den Ecken des Raumes. Sämtliche Umfangsmauern treten als Widerlager auf.

Alles, was hinsichtlich der Ausmittlung der Leitlinie für die Gewölbwangen und für die Bestimmung der Kehllinien derselben beim einfachen Klostersgewölbe gefagt wurde, findet auch unmittelbar wieder Anwendung beim Muldengewölbe.

Dasselbe wird bei Festungsbauten zur Ueberwölbung von Casematten häufig benutzt. In Folge der hohen Erdüberfüllung, welche bei derartigen Bauwerken über dem Gewölbe angebracht wird, ist dasselbe meistens sehr stark herzurichten.

222.
Ausführung.

Die Stabilitäts-Untersuchung im Allgemeinen und die Ausführung der Mulden- gewölbe im Besonderen erfolgt nach den für das Tonnengewölbe und das einfache Klostersgewölbe gemachten Mittheilungen.

In architektonischer Beziehung nimmt das Muldengewölbe, selbst wenn dasselbe in seinen Laibungsflächen durch Einfügen von Stichkappen bewegter gestaltet werden sollte, nur einen mehr untergeordneten Rang ein.

12. Kapitel.

Spiegelgewölbe.

a) Gestaltung der Spiegelgewölbe.

223.
Gestalt.

Das Spiegelgewölbe ist ein Klostersgewölbe, welches zwischen der Kämpfer- ebene und dem Scheitelpunkt durch eine wagrechte Ebene abgeschnitten und in der dadurch gebildeten Oeffnung durch ein wagrechtes oder schiebtrechtes Gewölbe wieder geschlossen wird. Die Laibungsfläche dieses wagrechten Gewölbes wird Spiegel genannt. Wird die Oeffnung zum Anbringen eines Deckenlichtes benutzt, so entsteht ein Spiegelgewölbe mit Deckenlicht.

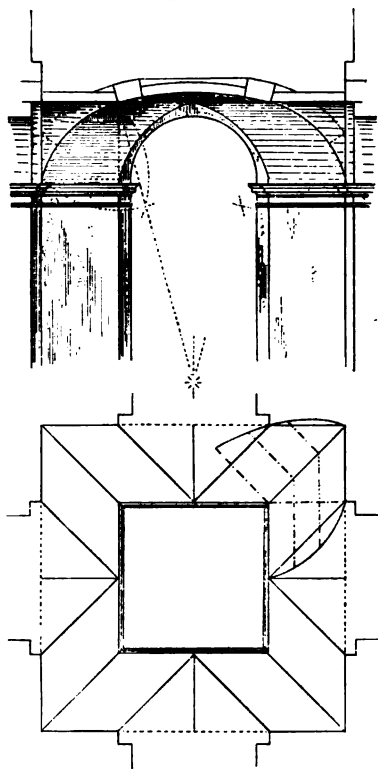
Zur weiteren Gliederung des Gewölbes werden in die als Theile von Klosters- gewölben auftretenden Wangen häufig Stichkappen (Lunetten) eingefügt, deren Spitzen oder Anfallspunkte in nur geringer Entfernung von der Umrahmung des Spiegels oder unmittelbar in derselben liegen.

Die Vereinigung eines schiebtrechten Gewölbes, selbst wenn dasselbe eine geringe Pfeilhöhe (Stich, Stechung, Bofung) erhalten soll, mit den Wangen des Klosters- gewölbes ist für die Herstellung eines Spiegelgewölbes in constructiver Beziehung bei ausschließlicher Verwendung von Steinmaterial und bei einer etwaigen größeren Deckenbildung immerhin mislich. Der Gewölbschub ist, wenn auch eine besondere Beschwerung des Gewölbes durch eine Nutzlast vermieden wird, im Allgemeinen bei derartigen Gewölben schon bei der mäßigen Breite des Spiegels von etwa 3 m ziemlich beträchtlich, so daß auf starke Pressungen im Gewölbkörper und ferner auch auf kräftige Durchbildung der Widerlagsmauern desselben gerechnet werden muß. Aus diesem Grunde werden in der Neuzeit größere Spiegelgewölbe über Vorhallen, Treppenhäusern, Sälen u. f. w. nicht ohne Anwendung eines eisernen Stütz- und Tragsystems ausgeführt, welches in seinem Gerippe die Gewöltheile aufnimmt.

In architektonischer Beziehung hat das Spiegelgewölbe jedoch eine nicht zu unterschätzende Bedeutung. Erscheint dasselbe vermöge der durch Lunetten unter- brochenen, vom Widerlager aufsteigenden Hohlkehlen seiner Wangen schon als eine leicht sich erhebende, mit der Theilung der Umfangswände in harmonischer Ueber- einstimmung stehende Deckenbildung, so kann die Wirkung der ganzen Anlage durch Ausschmückung der hierfür äußerst günstigen Gewölblächen mit Ornamenten, Gemälden u. f. w. eine Steigerung erfahren, welche den höchsten Anforderungen zu entsprechen vermag, die an Reichthum und Pracht in der Ausstattung der Spiegel-

gewölbe gestellt werden. Beispiele derartiger in der Ausschmückung üppiger Deckenbildungen, welche gleichsam als besondere Schaustücke zu betrachten sind, bieten vielfach hervorragende Bauwerke, welche dem Baustil der Renaissance, dem Barock und dem Rococo-Stil angehören. Ist auch die wirkliche Construction derartiger Decken oft durch ein Blendwerk von Holzverbindungen mit Putzüberzug gebildet

Fig. 411.



und daher entfernt stehend von einem eigentlichen Gewölbebau, so ist doch ein Studium derselben um so mehr zu empfehlen, als in der Jetztzeit Spiegelgewölbe, construirt als gemischtes System aus Eisen und Stein, mannigfach in Anwendung kommen.

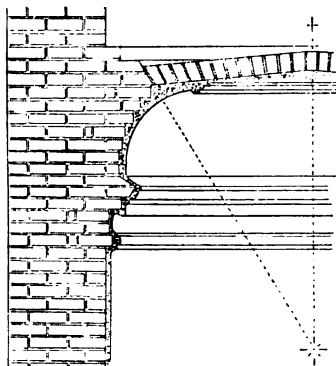
Das einfache Spiegelgewölbe (Fig. 411) kann über quadratischen, rechteckigen oder auch über anderen, im Grundriss regelmässig angeordneten Räumen ausgeführt werden. Unregelmässige Grundformen sind dabei als für diese Deckenbildung unschön auszuschliessen. Würde man in besonderen Fällen und bei untergeordneten Anlagen die Wangen des Gewölbes fortlassen, so würde an die Stelle des einfachen Spiegelgewölbes ein scheidrecht Gewölbe treten. Diese sollten aber nur bis zu einer Spannweite von höchstens 3,5 m in Anwendung kommen und niemals ganz wagrecht, sondern immer mit einem Stich von etwa 1 cm auf 1 m Spannweite in vorzüglichem Verlande und mit sehr gut bindendem Mörtel ausgeführt werden. Eine besondere Ueberlast soll auf diesen Gewölben, wenn dieselben bei *Moller'schem* Verlande in ihren von Widerlager zu Widerlager ziehenden Fugen nicht etwa durchgehende, hochkantig gestellte Flacheisen (Bandeisen) als Armirung erhalten, nicht ruhen. Sollte dem

224.
Einfache
Spiegel-
gewölbe.

mit Stich behafteten scheidrechten Gewölbe eine wagrechte Laibungsfläche gegeben werden, so ist dieselbe durch entsprechend starken Putz zu erzielen.

Will man dem scheidrechten Gewölbe das Aussehen eines Spiegelgewölbes gewähren, so lässt man nach Fig. 412 ringsum an den Widerlagsmauern des Raumes mehrere Mauerfichten wagrecht mit Auskrugung ansetzen. Diese staffelartig gebildeten Widerlager des mit mässigem Stich versehenen scheidrechten Gewölbes werden durch Putzüberzug zu einer Hohlkehle ausgebildet, welche durch eine gleichfalls aus Putz angefertigte Umrahmung der Spiegelfläche begrenzt wird. Bei gröfserer Ausladung der vorgekrugten Widerlager können zweckmässig zur Sicherung und Unterstützung derselben kleine L-förmige Profileisen unter Benutzung von Cementmörtel mit eingemauert werden. Diese Eisen greifen ausserdem noch mit entsprechender Länge in das Mauerwerk der Umfangsmauern ein.

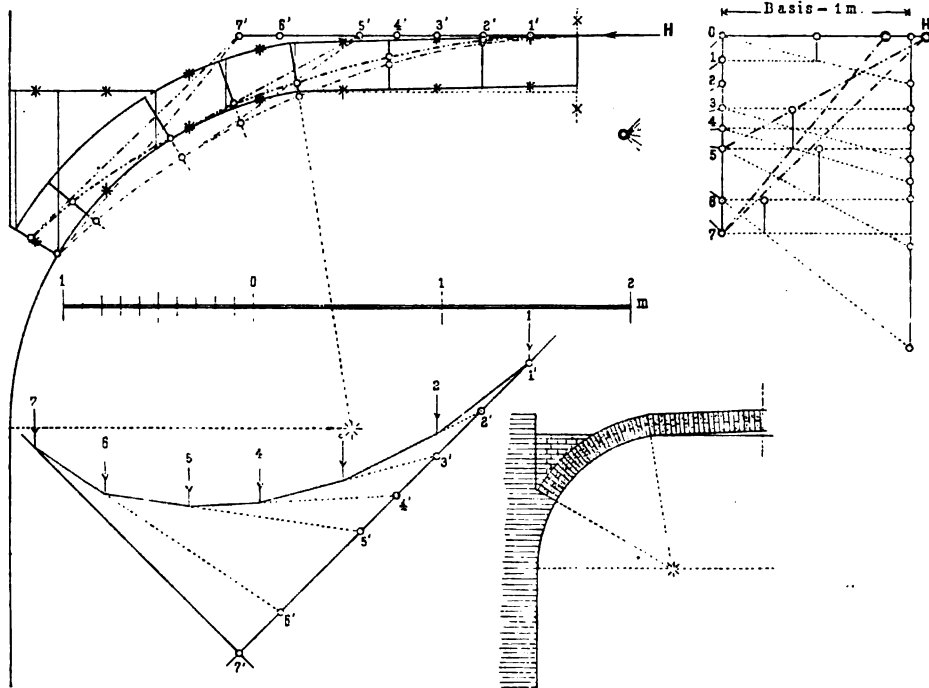
Fig. 412.



Aber auch dann, wenn die Anfätze des Spiegel-

gewölbes als Wangentheile eines Klostergewölbes auszuführen sind, werden fachgemäß die unteren Schichten derselben, so weit thunlich ist, vorgekragt (Fig. 413), um hierdurch die Weite der eigentlichen Wölbung möglichst zu vermindern. Die in der Abbildung für einen Gewölbstreifen von der Tiefe gleich der Längeneinheit eingetragene Mittellinie des Druckes mit dem möglichst kleinsten Gewölbschub H giebt über die statischen Verhältnisse des Gewölbkörpers näheren Aufschluss.

Fig. 413.



225.
Spiegel-
gewölbe
mit Stützwerk
aus Eisen.

Gehen die Raumabmessungen für Decken als Spiegelgewölbe über 3,5 m hinaus, so verläßt man am besten die einfache Gewölbebildung und gestaltet die Decke durch Einfügen eines Gerippes aus Eisenträgern zu einem gemischten System von Eisen und Stein. In solchen Fällen wird die angeordnete Eisen-Construction als Trag- und Stützsystem der wesentlichste Bestandtheil der Decke, während die zwischen dem eisernen Rippenwerk eingefügten gewölbten Theile derselben mehr als Füllwerk zur Herstellung der Form des Spiegelgewölbes auftreten.

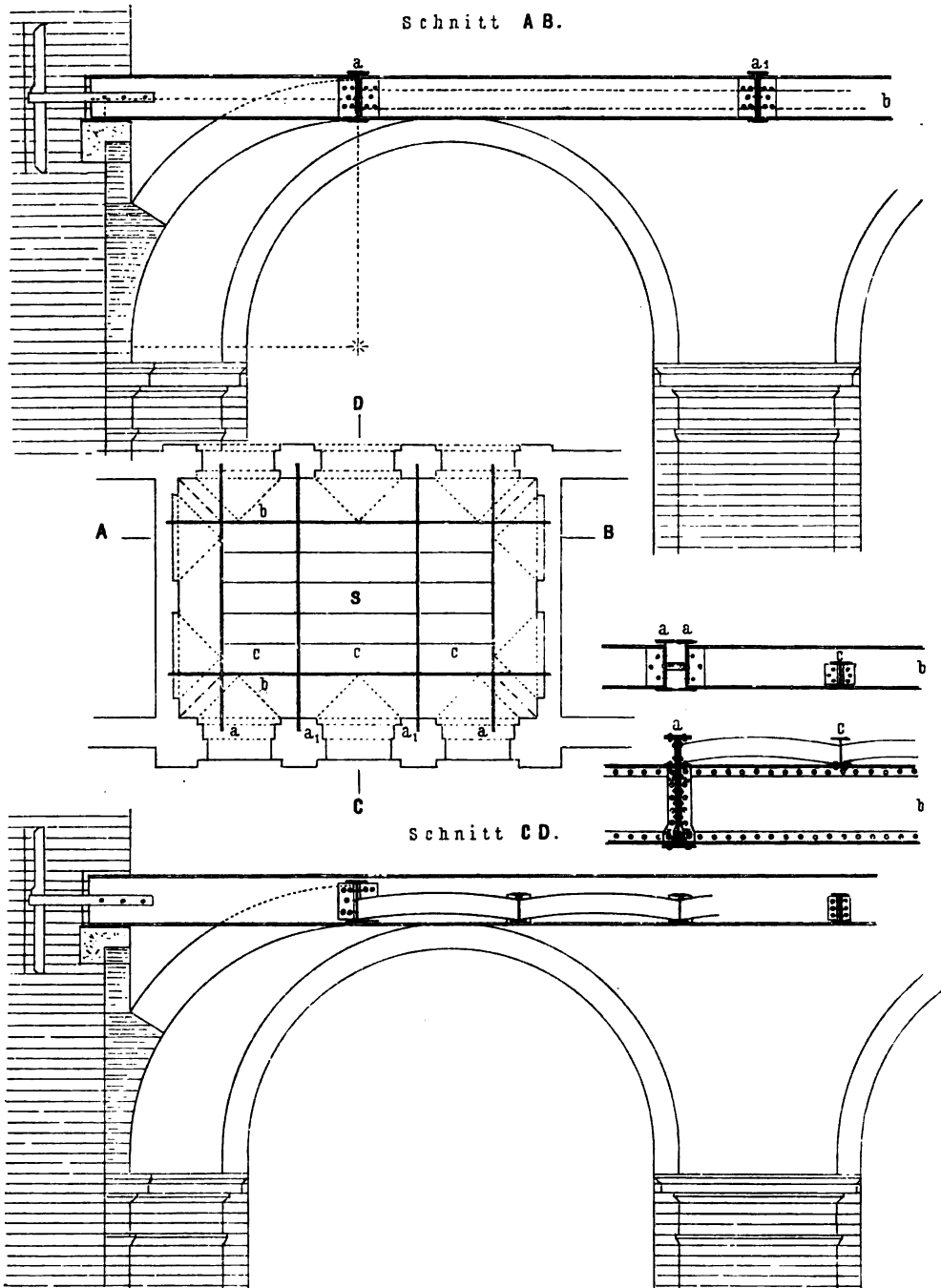
Die Gestaltung dieser Decken ist in den grundlegenden Anordnungen durch Fig. 414 näher angegeben.

Mit der Begrenzung des Spiegels S zusammenfallend und zuweilen im Gebiete desselben werden Walzeisen- oder, bei bedeutender Weite und erheblichem Gewichte der Decke, eiserne Nietträger a , bzw. a_1 verlegt, welche ihre Auflager auf den Umfangsmauern erhalten und an ihren Enden durch sorgfame Ummauerung, bzw. durch eine Verankerung die gesicherte Lage erhalten. Gegen diese Hauptträger a , a_1 setzen sich in der weiteren Begrenzung des Spiegels liegende Querträger b . Dieselben werden mit den Hauptträgern durch Winkeleisen unter Anwendung einer guten Vernietung verbunden, so daß hierdurch ein eiserner Rahmen entsteht, welcher als Hauptgerippe der Decke ein entsprechendes oberes Widerlager für die unteren Wangen des Spiegels bietet, wie aus den Schnitten AB , bzw. CD hervorgeht. Zur weiteren Sicherung der mit einander verbundenen Haupt- und Querträger werden dieselben oft noch durch besondere Consoletträger unterstützt, welche von den festen Umfangsmauern aus bis zu den Trägern a , bzw. b geführt werden. Die untere Begrenzungslinie dieser Consoletträger hat sich nach der Wangen-

linie, bezw. nach der Kehllinie des Gewölbes zu richten. Für die Einwölbung des Spiegels *S* werden noch in Entfernungen von etwa 1 m von einander kleine Nebenträger *c* eingebracht. Dieselben werden unter Beobachtung ihrer geringsten Längenausdehnung in geeigneter Weise entweder mit den Querträgern *b*

Fig. 414.

Schnitt A B.



oder mit den Hauptträgern *a* durch Winkleisen und Nietung, bezw. Verschraubung verbunden. Die durch Einschaltung dieser Nebenträger entstehenden, sehr schmalen Gewölbfelder des Spiegels *S* werden mit ganz flachen Kappengewölben, bezw. scheitrechten Gewölben geschlossen, welchen nur etwa 2 cm Stich gegeben wird.

Soll die Oeffnung im Trägergerippe *a*, *b* für ein Deckenlicht benutzt werden, so bleiben die Nebenträger *c* fort. Das Rahmenwerk des Gerippes dient alsdann zur Aufnahme der Constructionstheile des Deckenlichtes.

Für die Gestaltung der Lunetten (Stichkappen) in den Gewölbwangen des Spiegelgewölbes behält das hierüber beim Klostergewölbe in Art. 206 (S. 306) Gefagte Giltigkeit.

b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager.

226.
Gewölbstärke.

Das einfache Spiegelgewölbe würde in den Elementarstreifen, parallel zu den Axen seiner Gewölbwangen zerlegt, dem Stücke eines Tonnengewölbes mit einer nach einem flachen Korbbogen gebildeten Wölblinie entsprechen. Die Ermittlung der Stabilität und der Stärke eines solchen Elementarstreifens kann, wie Fig. 413 zeigt, ganz nach den beim Tonnengewölbe in Kap. 9 (unter b) gemachten Angaben bewirkt werden.

Wird der Spiegel des Gewölbes auf Schwalbenschwanz ausgeführt, so sind die in Art. 181 (S. 277) gegebenen Mittheilungen zu berücksichtigen. Da die einfachen Spiegelgewölbe zum Tragen einer Ueberlast nicht in Anspruch genommen werden sollen, so ist bei der Stabilitäts-Untersuchung derselben nur das Eigengewicht des Wölbmaterials in Betracht zu ziehen.

227.
Widerlags-
stärke.

Ausgehend von den erwähnten Elementarstreifen, deren Spannweite einmal von der Länge des zu überdeckenden Raumes, sodann von der Breite desselben abhängig wird, ist die Widerlagsstärke der Spiegelgewölbe gleichfalls wie beim Tonnengewölbe nach dem in Art. 142 (S. 197) Vorgetragenen zu ermitteln.

228.
Empirische
Regeln.

Für Spiegelgewölbe sind empirische Regeln zur Bestimmung ihrer Gewölbstärke und der Widerlagsstärke durchaus nicht am Platze. In jedem besonderen Falle ist auch eine besondere, soeben gekennzeichnete Stabilitäts-Untersuchung und Ermittlung der Abmessungen für eine derartige Gewölbanlage vorzunehmen.

229.
Spiegelgewölbe
mit
Eisengerippe.

Bei den für größere Deckenbildungen in Frage kommenden Spiegelgewölben mit Eisengerippen nimmt die statische Untersuchung der eisernen Träger-Construction den ersten Rang ein. Sind die Belastungen dieser Hauptbestandtheile der Decken ermittelt, so sind die Berechnungen der Träger nach den in Theil III, Band 1 (Abth. 1, Abschn. 3, Kap. 7) dieses »Handbuches« gegebenen Entwicklungen durchzuführen. Bei der statischen Untersuchung der vom Widerlager bis zu dem höher und am Spiegel gelegenen Trägersystem aufsteigenden Wangen ist zu beachten, daß ein Elementarstreifen derselben einem einhöftigen Gewölbe angehört; hiernach ist die Untersuchung desselben im Sinne des in Art. 146 (S. 208) Gefagten zu führen. Wird der Spiegel in seinen Feldern durch Kappengewölbe geschlossen, so ist die Stabilität derselben auf Grund des in Art. 176 (S. 263) Gegebenen zu prüfen.

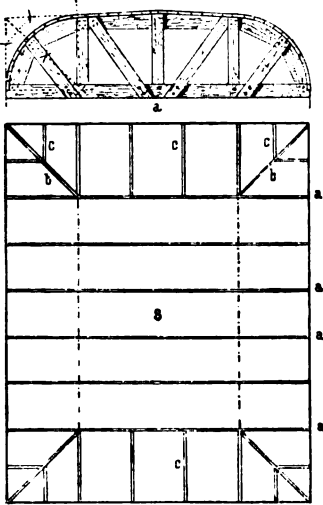
c) Ausführung der Spiegelgewölbe.

230.
Allgemeines.

Da das Spiegelgewölbe in Anbetracht seiner eigentlichen Gestaltung und Construction seine Aufgabe weit mehr darin zu suchen hat, eine leicht durchgeführte, entsprechend gegliederte und geschmückte, raumabschließende Decke zu liefern, als noch außerdem fremde Lasten zu tragen, so ist dem entsprechend bei der Ausführung der Spiegelgewölbe namentlich bezüglich des zu verwendenden Wölbmaterials und Bindemittels gebührende Rücksicht zu nehmen.

Aus diesem Grunde treten als Hauptbaustoffe für Spiegelgewölbe Backsteine, die gewöhnlichen Lochsteine oder hinreichend feste poröse Barnsteine in den Vordergrund. Bruchsteine sind im Allgemeinen auszuschließen, während Quader bei verhältnismäßig gering gespannten Spiegelgewölben benutzt werden können. Bei Verwendung von Backstein

Fig. 415.



ist ferner eine vorzügliche Verkittung der Wölbsteine geboten und deshalb ein ausgezeichneter Cementmörtel, bezw. verlängerter Cementmörtel als Bindemittel in jeder Beziehung für den gesicherten Bestand der Spiegelgewölbe anzurathen.

Für die Ausführung der Spiegelgewölbe wird eine vollständige auf Lehrbogen, bezw. Wölbsteine lagernde Unterschaltung hergerichtet. So weit der Spiegel *S* reicht, werden nach Fig. 415 die Hauptlehrbogen *a* in Entfernungen von 1,0 bis 1,5 m aufgestellt. Gegen dieselben legen sich Lehrbogen *b*, welche für die Kehllinien der Wangen in bekannter Weise auszumitteln sind, und die Schiftlehrbogen *c* von je zwei einander gegenüber liegenden Wangen. Im Uebrigen gilt das beim Tonnengewölbe in Art. 152 (S. 220) hinsichtlich der weiteren Behandlung der Gewölberüste Gefagte.

231.
Lehrgerüste.

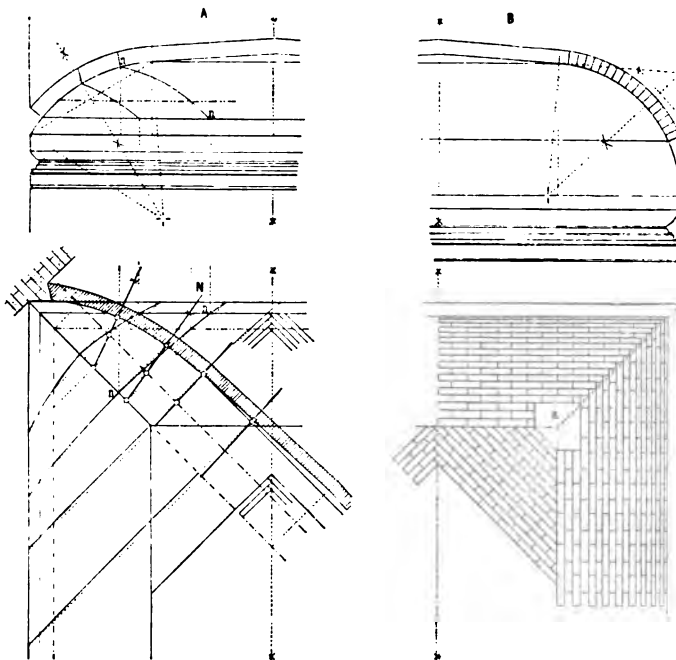
Bei Spiegelgewölben zwischen Eisengerippe erhalten die einzelnen Gewölbtheile gleichfalls eine Unterschaltung. Die Lehrbogen oder die in vielen Fällen für die Wangen zu benutzenden einfachen Wölbsteine reichen alsdann nur vom Kämpfer bis zu den Rändern des Spiegels, während letzterer für sich, falls ein geschlossener

Spiegel ausgeführt werden soll, eine Unterschaltung erhält, wie solche bei flachen Kappengewölben üblich ist.

Bei den einfachen Spiegelgewölben aus Backstein kann, wenn die Wangen Hohlkehlen bilden, deren Wöblinie ein flacher Kreisbogen ist, der Verband auf Kuf, bezw. auf Schwalbenschwanz durchweg für Wangen und Spiegel beibehalten werden. Wird dagegen die Wöblinie der Wangen ein Viertelkreis, so wählt man für dieselben den Verband auf Kuf, während der Spiegel dann allein meistens im Schwalbenschwanzverband eingewölbt wird.

232.
Spiegelgewölbe
aus
Backstein.

Fig. 416.



Beide Anordnungen sind in Fig. 416 bei *A*, bzw. *B* dargestellt. Bei der in *B* gegebenen Einwölbung ist zur Erzielung eines zweckmäßigen Ansatzes der in Schwalbenschwanzverband antretenden Wölbung das Einfügen besonderer Werkstücke *a* an den Ecken des Spiegels zu empfehlen.

Die Wangen der Spiegelgewölbe mit eisernem Rippenystem werden auf Kuf eingewölbt, während die Kappen des Spiegels in demselben Verbands oder auf Schwalbenschwanz herzurichten sind.

Soll der Spiegel Cassetten erhalten, so ist der in Art. 162 (S. 233) mitgetheilte Verband anzuwenden.

*33.
Spiegelgewölbe
aus
Quadern.

Für Spiegelgewölbe über Räumen von etwa 4,0 m größter Seitenabmessung können bei genügend starken Umfangsmauern und bei mäßiger Belastung der Decke von oben auch Quader als Wölbsteine zur Anwendung kommen. Der Steinfugenschnitt derselben ist im Allgemeinen dem Verbands auf Kuf entsprechend zu ordnen.

Im Besonderen ist für die Grat- oder Kehlsteine, um eine hakenförmige Gestalt derselben zu vermeiden, die Anordnung *g* (Fig. 417) nach den beim Klostergewölbe in Art. 219 (S. 325) gegebenen Darstellungen vorzunehmen, während die übrigen Wangensteine als gewöhnliche Tonnengewölbsteine zu lassen sind. Die Formen der Wölbsteine des Spiegels *S*, welcher in seiner Gesamtheit nur eine mit nahezu ebener Laibungsfläche behaftete, ohne ausgesprochene Kehllinien bestehende Fortsetzung der Wangenflächen ist, entsprechen ebenfalls den übrigen Wangensteinen. Auch hierbei kann die Bildung der Ecksteine *i* der einzelnen Schichten ohne hakenförmigen Ansatz bewirkt werden.

Soll bei Gewölben über quadratischen oder rechteckigen Räumen dem Spiegel eine nach dem Achteck fest gelegte Begrenzung gegeben werden (Fig. 418), so laufen an jeder Ecke des Raumes vom Kämpferpunkte *a* aus zwei Kehllinien *ae*, *af* nach den Ecken des Spiegels. Dieselben begrenzen die größeren Wangen *w* und kleinere, in der wagrechten Projection als Dreiecke *aef* erscheinende Wangen *z*. Für die Schnittlinien nach *ae* und *af* sind wiederum besondere Grat- oder Kehlsteine zu schaffen, deren Fugenschnitt sich ohne Schwierigkeit ermitteln läßt, sobald das Festlegen der Gestalt der Kehllinien und

Fig. 417.
Schnitt AB.

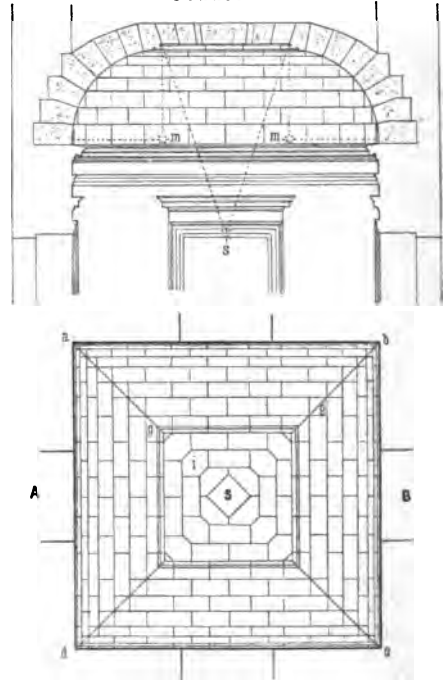
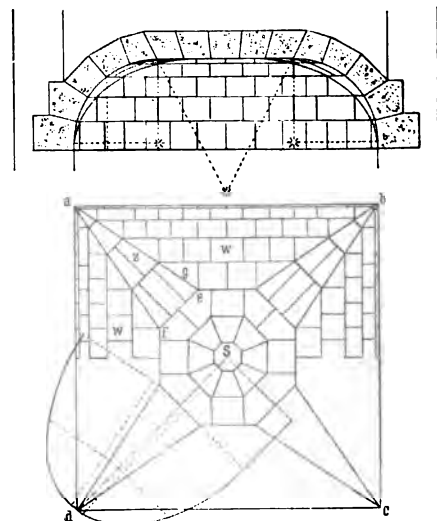


Fig. 418.



Wölblinien der Dreieckswangen z nach dem gewählten Grundbogen einer Wange w vorgenommen ist. Aus der Zeichnung geht die allgemeine Anordnung der Lager- und Stosfugenkanten für die Wangen und den Spiegel S auf der wagrechten Projection der Laibungsfläche des Gewölbes hervor.

Hinsichtlich des Verfetzens der Quader, des Mörtels u. f. f. ist auf Art. 170 (S. 246) zu verweisen.

13. Kapitel.

Kreuzgewölbe im Allgemeinen.

Das Bestreben und auch das Bedürfnis, bei der Grundrissentwicklung eines Bauwerkes mehrere neben einander liegende Räume, welche mit dem wohl bekannten halbkreisförmigen Tonnengewölbe überdeckt werden konnten, in höherem Mafse in Verbindung zu bringen, als solches an sich durch die in den Stirnmauern solcher Gewölbe leicht zu schaffenden Oeffnungen möglich war, mußte naturgemäfs dazu führen, auch in den eigentlichen Widerlagskörpern dieser Decken Oeffnungen anzulegen und nach oben durch kleinere Tonnengewölbe, d. h. durch besondere Bogen, abzuschließen. Mochte diese Bogenanlage auch anfänglich in ihren Scheitelpunkten noch in größerem oder geringerem Abstände unter dem Fusse des Tonnengewölbes befindlich sein, immerhin war die Auflösung der Masse des Widerlagskörpers in einzelne mehr oder weniger breite Pfeiler erreicht. Konnte man nun die Bogen der Widerlagsöffnungen mit einer größeren Länge behaften und durch rechtwinkelig zu den geschaffenen Pfeilern stehende, an den Hauptraum tretende neue Widerlagskörper stützen, so entstand ein Zusammenhang von mit Tonnengewölben überdeckten Räumen, welche jedoch in Rücksicht auf das Hauptgewölbe eine tiefere Kämpferlage befassen. Eine solche Anlage konnte nicht in allen Fällen befriedigen, und wenn auch bei den Römern des Abendlandes, namentlich bei der Anwendung von Quadern als Wölbmaterial, die verschieden hohe Lage der Kämpfer auf einander tretender Tonnengewölbe noch nicht vermieden wurde, so machten sich doch, vom Morgenlande ausgehend, Einflüsse geltend, welche eine bessere Vereinigung der zusammenstreichenden Tonnengewölbe erzielen liefsen. Fielen die Kämpferlinien dieser Gewölbe in eine und dieselbe wagrechte Ebene, waren aber die Durchmesser derselben verschieden, so setzten sich die kleineren Gewölbe als »Stichkappen« in das größere Tonnengewölbe; waren dagegen die Durchmesser derselben gleich groß, so durchkreuzten sich beide Tonnengewölbe und bildeten als besondere Gewölbart das »Kreuzgewölbe«. In beiden Fällen war an allen Seiten des Raumes die Anlage entsprechend großer Oeffnungen und damit eine Auflösung der Widerlagsmauern in einzelne, das Gewölbsystem ausschließlichs stützende Pfeiler möglich, so daß eine Reihe von derartigen Gewölbanordnungen für einen ausgedehnten Grundplan Platz greifen konnte. Durch die Einführung dieser zusammengesetzten Tonnengewölbe ist ein bedeutender Fortschritt im Gewölbebau überhaupt angebahnt.

Die Grundlagen des besprochenen Wölbsystems, welches dem römischen Kreuzgewölbe entspricht, sollen an der Hand der Zeichnung noch näher erläutert werden.

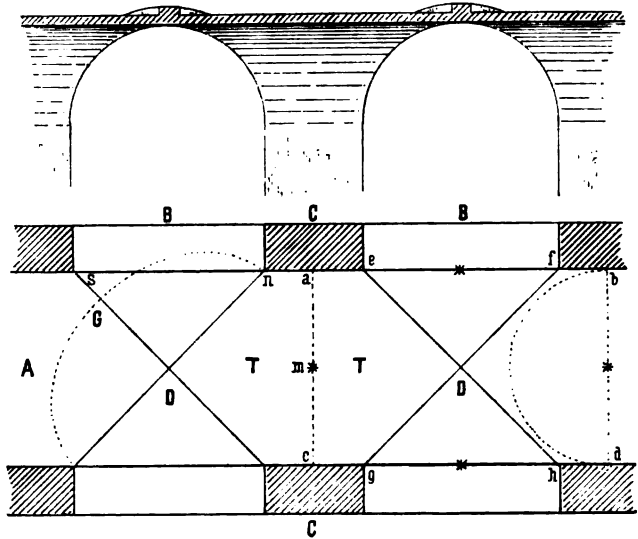
In Fig. 419 ist A ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe vom Durchmesser $b d$. Gegen dasselbe treten Tonnengewölbe B , deren Wölblinien gleichfalls Halbkreise

234.
System-
bildung.

235.
Römisches
Kreuzgewölbe.

sind vom Durchmesser ef , bzw. ns , gleich dem Durchmesser der Wölblinie des Tonnengewölbes A . Die Axen beider Gewölbgruppen liegen in einer und derselben wagrechten Kämpferebene und schneiden sich rechtwinkelig. Die Stücke D der Gewölbe B stecken gleichsam als Stichkappen im Hauptgewölbe A ; sie besitzen in der Laibungsfläche der zusammengeführten Gewölbe einen gemeinschaftlichen Anfallspunkt als Schnittpunkt der sich rechtwinkelig treffenden wagrechten Scheitellinien beider Gewölbe A und B , d. h. den Scheitelpunkt derselben. Ueber $efgh$ liegen die Schnittlinien dieser Gewölbe als besondere Diagonalbogen. Bei den gleichen Durchmessern der Gewölbe sind diese Diagonalbogen in ihrer wagrechten Projection gerade Linien, in ihrer wirklichen Gestalt aber halbe Ellipsen, deren große Axe

Fig. 419.



der Länge der Diagonalen eh , bzw. fg , deren halbe kleine Axe dem Halbmesser $ma = mc$, also dem Halbmesser der Wölblinien der Gewölbe A , bzw. B entspricht.

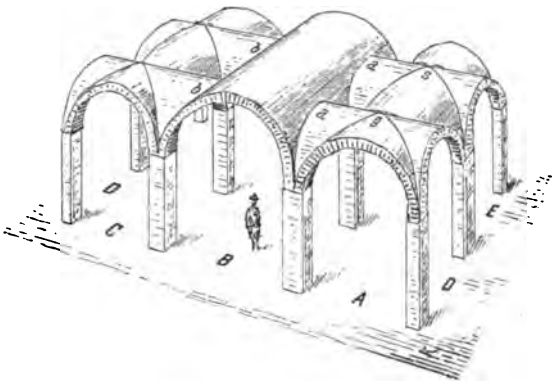
Das Gewölbe oberhalb $efgh$ ist ein Kreuzgewölbe. Mit demselben steht jedoch noch ein Stück T des Tonnengewölbes A im Zusammenhange, so daß die der Reihe nach folgenden Kreuzgewölbe um eine Länge en von einander abgerückt erscheinen. Dieser Länge en gehören die für beide Gewölbe A und B , bzw. für die Kreuzgewölbe entstehenden Widerlagskörper in Gestalt eines Mauerpfeilers an. Von den Ecken e und n , bzw. g und h steigen die Diagonalbogen der Kreuzgewölbe empor.

Diese grundsätzlich getroffene Anordnung an einander gereihter Kreuzgewölbe, zwischen denen noch kurze Theile eines geraden Tonnengewölbes bestehen bleiben, war den Römern schon hinlänglich bekannt geworden; auch heute noch wird dieselbe vielfach in Anwendung gebracht.

Gestattet diese Anordnung die Ueberdeckung eines einzelnen rechteckigen längeren Raumes mit Kreuzgewölben, so folgt auch bei dem Innehalten des grundlegenden Wefens derselben ohne große Umstände die Möglichkeit des Zusammenfügens von Kreuzgewölben über ausgedehnteren Grundrissen sowohl der Länge, als auch der Breite des Raumes nach.

Ein derartiges Gewölbsystem zeigt Fig. 420. Hierbei ist jedoch B noch theilweise als ein Haupttonnengewölbe belassen, während für die Abtheilungen A und C , bzw. D und E Kreuzgewölbe in ihrer Vollständigkeit vorhanden sind. Die Wölblinien der sich durchschneidenden Tonnengewölbe A mit D und E , bzw. C mit D und E haben einen gleichen Durchmesser; das Tonnengewölbe B dagegen besitzt einen Halbkreis als Wölblinie mit größerem Durchmesser. In Folge hiervon treten bei diesem Gewölbsystem die Stücke a und b der Kreuzgewölbe als gewöhnliche Stichkappen für das Tonnengewölbe B auf; ihre höchsten Anfallspunkte vereinigen

Fig. 420.



menhängende Abtheilungen; dieselbe ist durch die gefetzmäßige Bildung der gewölbten Decke bedingt.

Giebt man dem Gewölbe *B* denselben Halbkreis als Wölblinie, wie den Gewölbbzügen *A* und *C*, bzw. *D*, so geht das ganze Wölbfystem in Kreuzgewölbe über, welche sich der Länge und Breite nach für den in Frage kommenden Raum an einander reihen.

Mag auch vorläufig davon abgesehen werden, in welcher Weise die Römer die Ausführung ihrer Kreuzgewölbe nach dem hier beschriebenen Wölbfysteme bewirkten: das Ziel war erreicht, bisher räumlich von einander getrennte Bautheile in innigen Zusammenhang zu bringen und bei der Raumtheilung und der Deckenbildung zu einem organischen Ganzen zu gestalten.

Der Einfluß, welchen dieses Wölbfystem im Gefolge haben mußte, war bedeutend, und wenn auch für die Anwendung desselben vorweg bei der Grundrisfbildung der einzelnen, mit Kreuzgewölben zu überspannenden Raumabtheilungen nur eine quadratische Planlage innegehalten werden konnte, so zeigt sich doch, daß allmählich auch für rechteckige Plantheilungen das geschaffene System unter Einführung von Umgestaltungen, die jedoch den eigentlichen Kern der Form des Kreuzgewölbes nicht schädigten, zur weiteren Benutzung fähig war.

Die romanische Baukunst übernahm das Kreuzgewölbe, und zwar zunächst über quadratischen oder annähernd quadratischen Grundrirstheilungen. Für die beiden bei solchen Kreuzgewölben zusammenschneidenden Tonnengewölbe konnte die Halbkreisform mit gleichem Durchmesser als Wölblinie beibehalten werden. Das Einwölben selbst erfolgte aller Wahrscheinlichkeit nach in der Weise, daß zunächst das eine Tonnengewölbe vollständige Unterschalung erhielt, auf welche alsdann, wie solches noch heute beim Anbringen von Stichkappen in Tonnengewölben üblich ist, sich die Schalungen für die quer antretenden Tonnengewölbstücke legten. In den Schnittlinien dieser Schalungen mit derjenigen des ersten Gewölbes ergab sich sofort die Gestalt der Diagonalbogen des Kreuzgewölbes von selbst.

So einfach sich hierdurch die Bestimmungstücke eines Kreuzgewölbes bei quadratischem Gewölbfelde ergaben, so bedenklich wurde die Gestaltung der Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Felde, sobald die Scheitellinien der zusammen-tretenden Gewölbstücke oder Gewölbkappen in gleicher Höhe über der Kämpfer-ebene liegen und die Wölblinien der Kappen sich im Ganzen der Halbkreisform möglichst anschließen sollten. In solchen Fällen lag die in Fig. 421 gekennzeichnete

sich nicht in einem gemeinschaftlichen Schnittpunkte auf der Scheitellinie des Gewölbes *B*, sondern liegen tiefer als diese Linie. Aus diesem Grunde ist das Gewölbe *B* nur ein Tonnengewölbe mit Stichkappen, kein eigentliches Kreuzgewölbe.

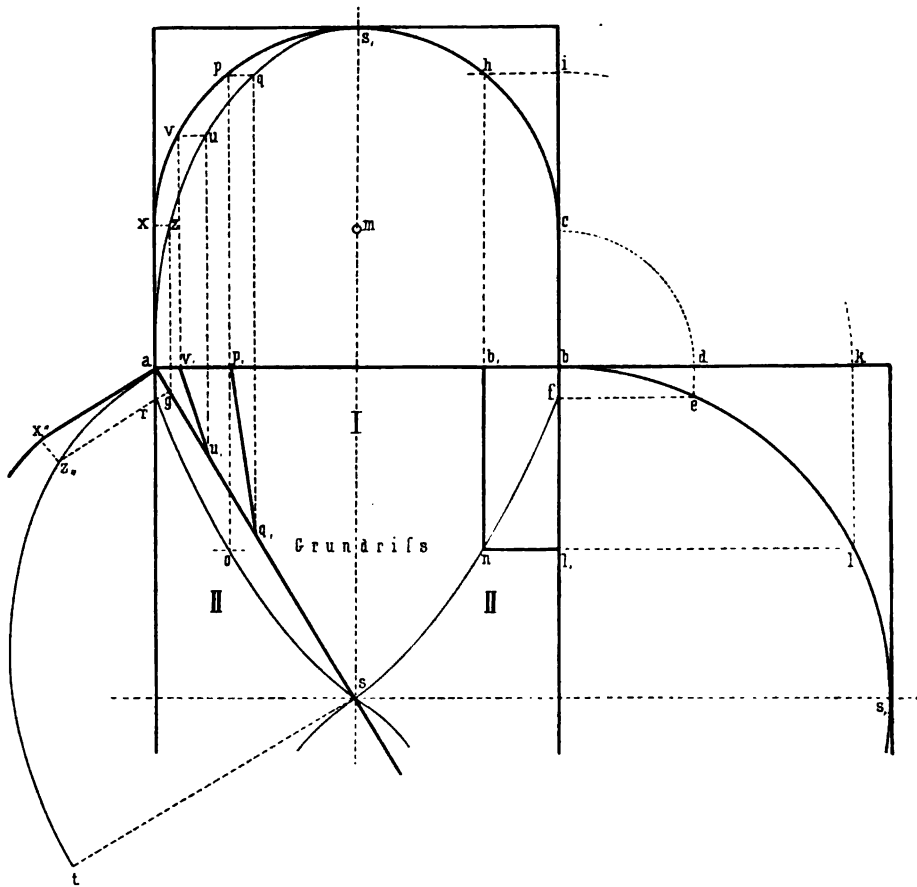
Die Stützen der gefamnten Gewölbanlage bestehen aus einzelnen Pfeilern an den Ecken der zusammen-gefügtten Gewölbstücke. Die Stellung der Pfeiler veranlaßt die Gliederung des Raumes in einzelne innig zusam-

236.
Romanisches
Kreuzgewölbe.

Gestaltung des Gewölbes nahe, wonach für die lange Seite des Rechteckes ein Stirnbogen als voller Halbkreis beibehalten, der Stirnbogen der schmalen Rechtecksseite ebenfalls als Halbkreis mit entsprechend kleinerem Durchmesser ab , aber mit einer Ueberhöhung ax , bzw. bc eingeführt wurde, um durch diese Ueberhöhung oder Stelzung die Scheitellinien der zusammentretenden Gewölbkappen in die gleiche Höhe zu bringen.

Wurde nunmehr das Gewölbe *II* eingeschalt und traten alsdann die Schalungen der Gewölbkappen *I* in rechtwinkliger Richtung gegen die Ebene des überhöhten

Fig. 421.

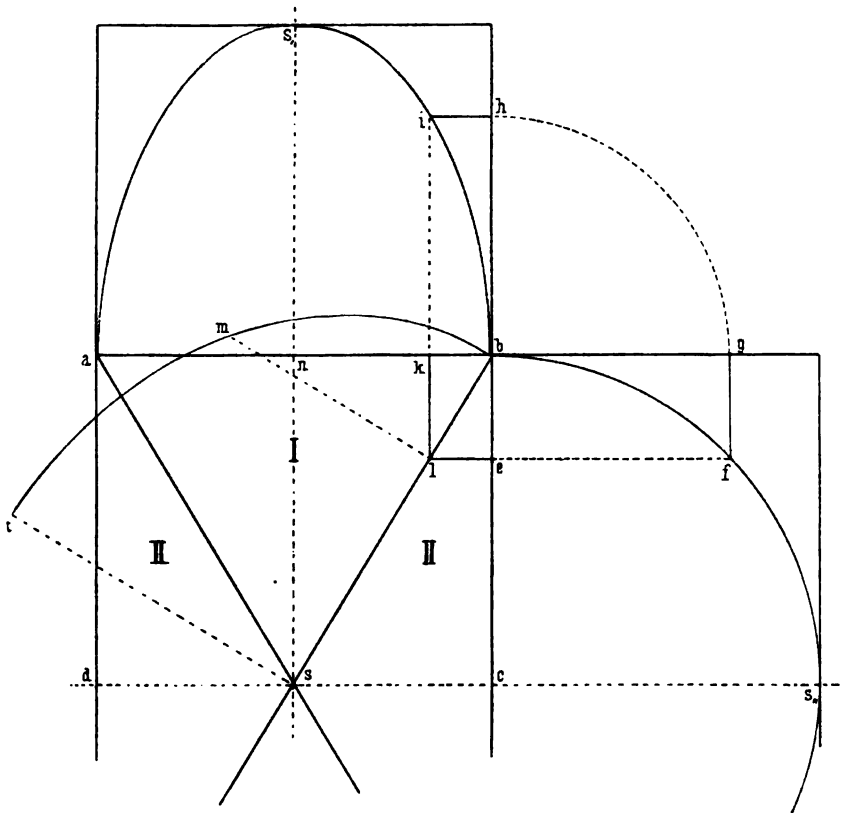


Stirnbogens ab , z. B. nach b, n , so ergaben sich danach Schnittlinien fns , bzw. ros der Gewölbkappen, welche in ihrer Grundrissprojection nicht den Richtungen der Diagonalen des Rechteckes folgten, sondern als krumme Linien auftraten. Außerdem beginnen diese Schnitt- oder Gratlinien erst in der Höhe bd , bzw. bc über der Kämpferebene, und in Folge hiervon entspringt an den langen Stirnseiten des Raumes ein Stück einer lothrechten Wand bed , entsprechend dem Ohr für eine Stichkappe *I*. Kommen auch derart gestaltete Kreuzgewölbe mit doppelt gekrümmten Gratlinien vor, so sind dieselben doch weder in technischer Beziehung, noch in Rücksicht auf architektonische Anforderungen als besonders beachtenswerth hinzustellen.

Behält man im Auge, daß die Ausmittlung der Diagonalbogen in frühester

Zeit nicht durch besonderes Aufzeichnen, sondern gleich praktisch bei der Herichtung der Unterschalung der Gewölbkappen erfolgt sein wird, so ließe sich unter der Bedingung, daß diese Gratbogen in ihrer Richtung den Diagonalen des Rechteckes folgen sollen, zunächst auf der Schalung des größeren Tonnengewölbes *II* diese Richtung, z. B. als *as*, vorreißten. Würde man nunmehr schmale Schalbretter oder Wölblatten, z. B. *q, p, u, v*, von der Schnürlinie *as* für den Diagonalbogen nach dem aufgestellten, überhöhten Stirnbogen der Seite *ab* in der Weise treten lassen, daß die Endpunkte *q* und *p*, bzw. *u* und *v* der einzelnen Schallatten für sich eine gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, so divergiren wohl diese Latten und stehen auch mit Ausnahme der Scheitellatte nicht mehr rechtwinkelig zur Stirn-

Fig. 422.



ebene *ab*; aber die Ausführung der Wölbung der Kappen *I* auf dieser Schalung, welche zwischen ihren Endauflagern noch irgend eine einfache, jedoch hinreichend starke Unterstützung erhalten konnte, ist möglich. Unterhalb der Linie *xs*, bzw. *ag* würden alle Schallatten in die Ebene des Diagonalbogens *as* fallen; mithin muß in dieser Ebene eine lothrechte Wand *ax, z*, entstehen. Auch derartige Anordnungen sind bei Kreuzgewölben, aus Bruchstein- oder Backsteinmaterial hergerichtet, anzutreffen.

Wie die Ausmittlung der Hauptstücke solcher Kreuzgewölbe im Sinne der darstellenden Geometrie zu erfolgen hätte, ist aus der Abbildung zu entnehmen.

Bei verhältnißmäßig schmaler rechteckiger Grundfläche mußte die dann bedeutende Ueberhöhung des halbkreisförmigen kleineren Stirn- oder Randbogens bei

dieser Durchbildung der Kreuzgewölbe jedoch in Verbindung mit dem bezeichneten lothrechten Wandstücke in der Ebene des Grat- oder Diagonalbogens sich unange-nehm geltend machen sowohl bei der Ausführung der Gewölbe, als auch in Rück-sicht auf die architektonische Wirkung derselben.

Um diese Uebelstände zu beseitigen, konnte nur eine Umformung der Randbogen der in das halbkreisförmige Haupttonnengewölbe tretenden Gewölbkappen vor-genommen werden. Unter Beibehaltung gleich hoch liegender Scheitellinien der Gewölbkappen und der Richtung der Gratbogen, entsprechend den Diagonalen des Rechteckes, entstand alsdann für die vom Halbkreise des Hauptgewölbes ab-hängige Wölblinie der eingefügten Gewölbkappen eine halbe Ellipse. Dieselbe ergab sich wiederum durch entsprechendes Auflagern von Schalbrettern, welche, wie *lk* in Fig. 422, rechtwinkelig zur Stirnseite *ab* und in wagrechter Lage nach der vor-gerissenen Linie *bs* des Diagonalbogens, auf die Schalung des Hauptgewölbes ge-bracht wurden.

War die Wölblinie für die lange Seite des Rechteckes ein Halbkreis, so wurde die Wölblinie der schmalen Seite eine halbe fog. überhöhte Ellipse, während um-gekehrt bei der Halbkreislinie der kleinen Seite für die lange Seite eine halbe fog. gedrückte Ellipse entstehen mußte. Beide Gewölbarten kommen bei Bauwerken der romanischen Kunst vor.

Wie das Feststellen der Wölblinien und Gratbogen durch Zeichnung zu ge-schehen hat, ergibt sich ohne Weiteres aus Fig. 422.

Hatte man auch in der fog. Stutzkuppel (Fig. 423) eine Gewölbebildung, welche sich für die Ueberdeckung rechteckiger Räume als äußerst zweckmäfsig erwies und wobei auch die Randbogen für die Stirnen als Halbkreise bestehen, so konnte diese Form allein den Anforderungen, welche beim Kreuz-gewölbe gemacht wurden, doch nicht genügen. Von eigentlichen, sich besonders auszeichnen-den Gratbogen ist auf dieser Wölbläche an und für sich keine Spur vorhanden. Sollten dieselben gekennzeichnet werden, so mußten, wie auch mehrfach geschehen, solche Bogen als Zierrath in die Kugelfläche eingefügt oder auf derselben in irgend einer Weise, z. B. durch Putz angebracht werden. Mit der eigentlichen Construction dieser Gewölbe hängen derartige Gratbildungen nur untergeordnet zu-fammen.

Der überhöhte Halbkreis und die Form der fog. überhöhten oder der ge-drückten halben Ellipse als Stirnbogen, bzw. als Wölblinien von Kappen der Kreuz-gewölbe und endlich die Anwendung der Stutzkuppel für rechteckige Räume ent-sprachen noch immer nicht den Wünschen, welche man bei der Anwendung von Kreuzgewölben hegte, oder befriedigten auch die besonderen baulichen Bedürfnisse nicht. Beim Festhalten des Halbkreises an sich für die Wölblinien der Kappen des Kreuzgewölbes ergab sich, dafs die Scheitellinie der Wölbkappen der kleineren Rechteckseiten überall keine gerade wagrechte Linie bleiben konnte, welche un-mittelbar, wie Fig. 424 in *fs*, zeigt, ohne das mit wagrechter Scheitellinie belassene Hauptgewölbe *II* zu durchstoßen, vom Scheitelpunkte *d* des Randbogens der Ge-

Fig. 423.

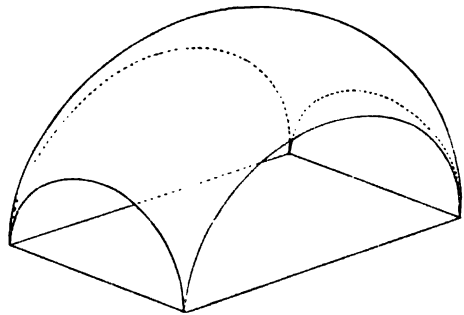
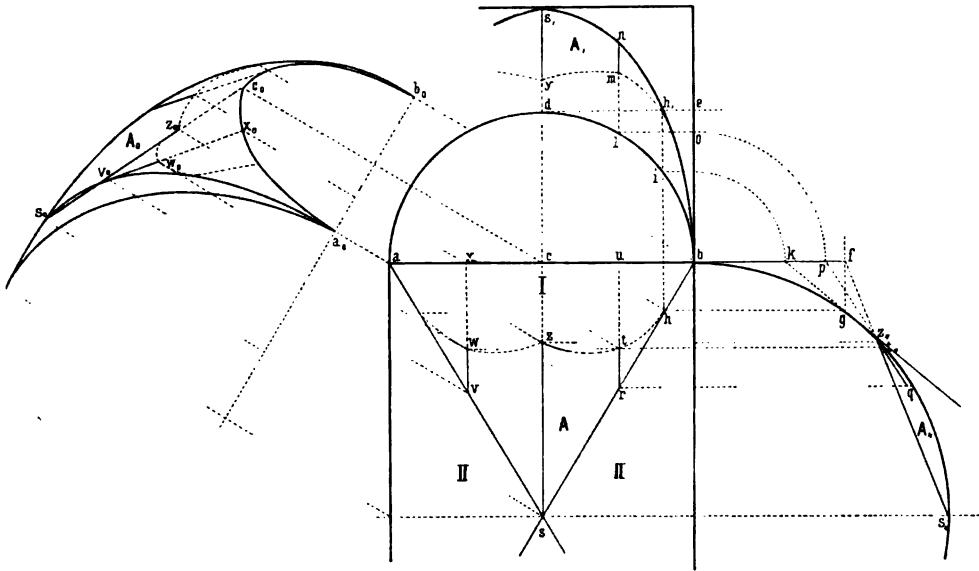


Fig. 424.



wölbkappe *I* nach dem Scheitelpunkte s_{II} des Kreuzgewölbes zu führen wäre. Eben so würde eine gerade Linie pq , welche einer zur Stirnebene ab rechtwinkelig stehenden Ebene angehört, so lange um p nach oben gedreht werden müssen, bis der Endpunkt q derselben in den Diagonalbogen über bs_{II} bzw. as_{II} gelangt. Die lothrechte Projection dieses Gratabogens in der Ebene des Stirnbogens bs_{II} deckt sich mit diesem Bogen, und man erkennt, daß, so lange irgend eine vom Randbogen adb nach dem Diagonalbogen geführte gerade Linie, welche in einer zugehörigen, rechtwinkelig zu ab genommenen Ebene liegt, nicht als Berührende an der Projection bs_{II} des Gratabogens, bzw. der Stirnlinie der langen Rechtecksseite auftritt, ein Durchstoßen derselben mit dem Hauptgewölbe *II* stattfinden muß. In der Zeichnung sind die Projectionen mehrerer Durchstoßpunkte und der sie verbindenden Durchstoßlinie eingetragen. Sollte der Lage und Richtung der Linien fs_{II} , pq u. f. f. gemäß die Unterschalung der Gewölbkappe *I* vorgenommen werden, so würden sich danach auch praktisch die bezeichneten Durchstoßlinien auf der Schalung des Hauptgewölbes ergeben.

Die Einwölbung der Kappe *I* auf einer solchen Unterschalung würde äußerst bedenklich fein und ein häßliches Ansehen gewähren. Würde aber die Oberfläche dieser Schalung in eine kugelförmige (sphäroidische) Fläche durch besonders hergerichtete Unterlagerung oder durch eine Erdschüttung, wie bereits in Art. 167 (S. 240) erwähnt, umgestaltet werden, so würde die Gewölbkappe *I* als eine sphäroidische StICKKAPPE mit den cylindrischen Gewölbkappen zu vereinigen und auszuführen sein. Diese kugelförmige Gewölbkappe *I* tritt dann als eine sog. »Kappe mit Bufen« oder als »bufige Kappe« auf. Sie nähert sich dem Stücke der Oberfläche einer Stützkuppel. Sie würde eine Kugelfickkappe sein, wenn, wie schon beim Klostergewölbe in Art. 207 (S. 308) näher gezeigt ist, auch die mit dem Halbkreise adb , dem Stirnbogen dieser Kappe, in a und b zusammentretenden Diagonalbogen statt in der Form der Halbellipsen als Halbkreise auftreten würden.

Durch die Einführung der bufigen Kappen bei den Kreuzgewölben ist ein be-

deutlicher Fortschritt in der Gestaltung derselben eingeleitet. Schon die Form der halben Ellipse als Diagonalbogen war nicht vortheilhaft, und eben so wenig günstig für die architektonische Wirkung erschienen bei quadratischem Grundplane und halbkreisförmigen Stirnbogen die wagrechten Scheitellinien des Kreuzgewölbes. Konnte man auch durch ein entsprechendes Höherlegen des Scheitelpunktes des Gewölbes und durch ein mässiges Ansteigen der Gewölbkappen von den Randbogen aus nach den Diagonalbogen, sei es durch Auffütterung der Schalung oder durch Erdschüttung auf derselben eine leichter erscheinende Gewölbebildung erzielen, so konnte doch bei rechteckiger Grundfläche, wenn nicht wieder auf elliptische Randbogen zurückgegriffen werden sollte, auch das nach dem Scheitel hin steigende Kreuzgewölbe nicht entsprechend günstig gestaltet werden. Nahm man aber bei derart steigenden Gewölben nun bei rechteckigem Plane für sämtliche zusammentretende Kappen eine Bufung derselben in Anspruch, so wurde es gleichgiltig, ob die Grundfigur ein Quadrat oder irgend ein Rechteck war.

Berücksichtigt man, welche Wege eingeschlagen sind, um Kreuzgewölbe über rechteckigen Räumen herzustellen, so ist hier noch die Bildung des sog. sechstheiligen Kreuzgewölbes zu erwähnen.

Ein ursprünglich quadratischer oder nahezu quadratischer grösserer Plan $abcd$ (Fig. 425) wurde in seiner Mitte nach der Richtung AB nochmals durch einen Bogen geschieden, dessen Form den Randbogen über ab , bzw. cd entsprach. Derselbe wurde bis zur Scheitellinie des Kreuzgewölbes übermauert und sollte scheinbar als Stütze der elliptischen Diagonalbogen ac und bd dienen.

Durch das Einfügen des selbständigen Bogens AB entstand aber eine Härte in der Erscheinung des Gewölbes, welche seine Befestigung, da derselbe ohnehin als Stütze sich ziemlich unbrauchbar erweisen musste, wünschenswerth machte.

Legte man daher nach Fig. 426 in die Hauptkappen G und H des über $abcd$ sich erstreckenden Kreuzgewölbes, von den langen Rechtecksseiten ausgehend, je zwei Nebenkappen, welche die in der Gewölbfäche nicht als besondere Bogen-Construction ausgeführte Wölblinie über AB als gemeinschaftlichen Randbogen enthielten, so ergab sich hierdurch die Gestaltung des Kreuzgewölbes mit sechs Gewölbkappen oder das sog. sechstheilige Kreuzgewölbe.

Die hierbei eingefügten Nebenkappen erhielten bei den einfacheren Anlagen elliptische Randbogen. Wie dieselben etwa mit Hilfe von Schallatten op und lm fest gelegt werden konnten, ergibt sich aus der Zeichnung. So musste z. B. pq , bzw. mn gleich ik genommen werden.

Wenngleich die sechstheiligen Kreuzgewölbe durch Umformung der Diagonal- und Randbogen, so wie durch Einführung von bufigen Kappen noch bei manchen Bauwerken zur Verwendung gelangten, so war diese Gewölbebildung doch weit weniger grundlegend für die Weiterentwicklung

Fig. 425.

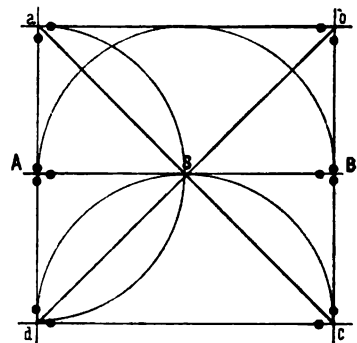
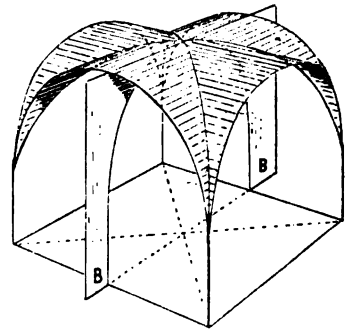
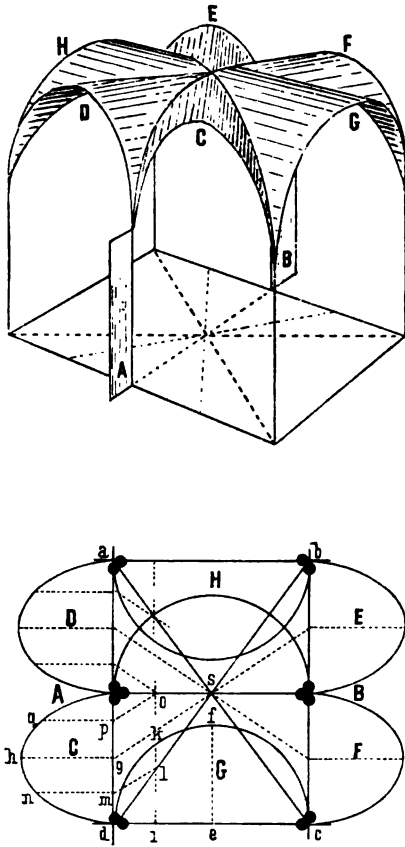


Fig. 426.



der Gestaltung von Kreuzgewölben über rechteckigen Räumen, als das eigentliche viertheilige Gewölbe mit bufigen Kappen.

Zwar ergab sich zunächst auch hierbei, daß man, wenn alle Randbogen Halbkreise bleiben sollten und wenn ferner an die Stelle der weniger erwünschten Halbellipse als Diagonalbogen der zweckmäßigeren Halbkreis gewählt wurde, um dadurch eine erhöhte Lage des Scheitelpunktes des Gewölbes herbeizuführen, wieder im Allgemeinen auf die Form einer gewöhnlichen Stutzkuppel kam.

Hierbei verschwanden alsdann aber die am Gewölbe sonst in charakteristischer Weise eine Ecke bildenden Gratbogen. Durch eine mehr oder weniger stark eingeführte Bufung der einzelnen Gewölbkappen statt der Fläche der Stutzkuppel war aber ein Mittel geboten, den mit als wesentlich erscheinenden Charakter des Kreuzgewölbes, eine Eckbildung der zusammenschneidenden Gewölbkappen an den Diagonalbogen zu zeigen, aufrecht zu halten.

Die Einschalung der Gewölbe mit bufigen Kappen war lästig; eben so war die Herstellung der bufigen Gewölbkappen aus gewöhnlichem Bruchsteinmaterial mühsam. Bei diesem Material ist längere Zeit hindurch stets eine Unterschalung in

Anwendung gekommen. Wenngleich das bei Herrichtung von Kuppelgewölben angezeigte freihändige Mauern ohne Benutzung einer Unterschalung in ringförmigen Schichten nicht unbekannt geblieben sein konnte, so war diese Wölbungsart doch nur in solchen Gegenden angezeigt, in welchen Backsteinmaterial oder ein geeigneter, leicht zu bearbeitender Kalkstein oder Tuffstein in ausreichender Weise vorhanden war. Für Bruchsteinmaterial mußte die Bufung der Kappen in den Hintergrund treten. Um aber die Diagonalbogen in ihrer Halbkreisform zu belassen, mußten die Randbogen wieder als überhöhte Halbkreise oder als Halbellipsen eintreten. Dadurch blieben aber die früher erwähnten Uebelstände bei der Gestaltung der Kreuzgewölbe bestehen, und um diese zu beseitigen, dürfte die Einführung des bereits bekannten Spitzbogens als Randbogen statt der gestelzten Halbkreise oder der halben Ellipsen eine Folge gewesen sein.

Bei quadratischem oder nahezu quadratischem Grundrisse bleiben die Randbogen, deren Scheitel mit dem Scheitelpunkt der halbkreisförmigen Diagonalbogen in gleicher Höhe liegen, nach Fig. 427 noch ziemlich stumpfe Spitzbogen.

Wurden in der Richtung der Diagonalen stützende Lehrgerüste aufgestellt, wurde gleichfalls für die Gewölbkappen unter weiterer Heranziehung der Unterstützung der Randbogen, so wie einiger einfacher Zwischengerüste eine genügend unterlagerte Schalung geschaffen, so konnten auch aus Bruchstein herzustellende Kappen leicht ausgeführt werden. Zunächst fehlte diesen Gewölben die Bufung. In

statistischer Beziehung übertrafen dieselben jedoch die Kreuzgewölbe, deren Randbogen gestelzte Halbkreise oder Halbellipsen waren, da bei der Spitzbogenform der Stirnbogen eine Verminderung des Seitenschubes zum Vortheil der stützenden Eckpfeiler des Gewölbes entstand.

Bei rechteckiger Grundform von mäßiger Breite wurde der Spitzbogen der schmalen Seite reichlich steil, sobald sein Scheitel eine gleiche Höhe mit dem Gewölbscheitel erhalten sollte.

Um diese lanzettartige Form eines solchen Spitzbogens im Allgemeinen nicht eintreten zu lassen, mußte entweder ein entsprechend stumpfer gewählter Spitzbogen in seinen Fußpunkten lothrecht gehoben, also wiederum gestelzt werden, oder die Gewölbkappen mußten bei einem fest gesetzten stumpferen Spitzbogen, dessen Scheitel tiefer blieb als der Gewölbscheitel, als steigende Kappen angeordnet sein, bezw. wieder mit Bufung ausgeführt werden.

Da der Verband der aus Bruchstein zu wölbenden Kappen über den Diagonalbogen nur ein wenig inniger fein konnte und nicht frei von Mängeln blieb, so legte man zur Beseitigung der Unvollkommenheiten in der Ausführung des Gratbogenverbandes besondere Haufteinstücke für die Diagonalbogen ein, welche dann als wesentliche Factoren des Kreuzgewölbes in der Gestalt von Rippen, Anfangs weniger reich, später mannigfaltiger, an ihrem vorspringenden Theile gegliedert auftreten.

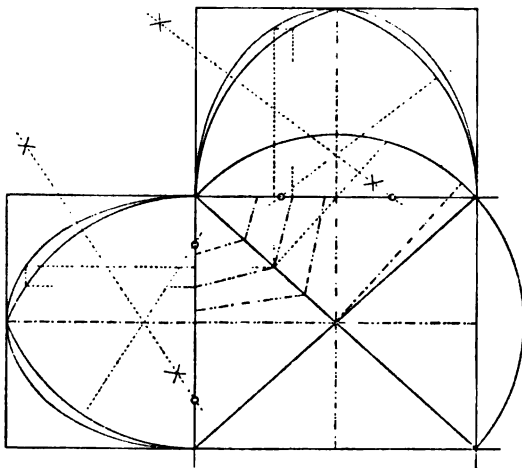
Durch die Aufnahme derartiger Rippen an Stelle der einfachen Randbogen, als selbständige Bestandtheile des Kreuzgewölbes oder als seitliche Begrenzungen zusammengereihter Kreuzgewölbe, wobei alsdann die Rippen der Randbogen als Scheide- oder Gurtbogen durchgebildet werden konnten, trat in Vereinigung mit den Diagonalrippen ein vollständiger Umschwung in der Formbildung und Gestaltung der Kreuzgewölbe ein.

Das Rippenystem ist zum vorwiegenden Bestandtheil des Kreuzgewölbes erhoben. Dasselbe bildet die Trag- und Stütz-Construction für die dazwischen liegenden Kappen, während die gesammte Belastung der Ueberdeckung auf einzelne bestimmte Punkte, d. h. auf Pfeiler- oder Säulengebilde übertragen wird.

Diese erweiterte Ausbildung des älteren romanischen Kreuzgewölbes führte zur Entwicklung des gothischen Kreuzgewölbes.

Mit der Einführung des Rippenystems ging Hand in Hand die Vervollkommnung der Ausmauerung der von den Rippen begrenzten und getragenen Kappen, so wie der Technik der Wölbungskunst überhaupt. Die Rippen konnten als die eigentlichen Träger des Gewölbes für sich hergestellt werden. War der günstige Spitzbogen für die Rippen der Randbogen einmal in Aufnahme gekommen, so konnte derselbe auch für die Diagonal- oder Kreuzrippen mit mehr oder weniger gehobenem Scheitelpunkte statt ihrer früheren Halbkreisform Benutzung finden. Die Kappenwölbung konnte zwischen diesen Rippen eine weit geringere Stärke erhalten, als bei

Fig. 427.

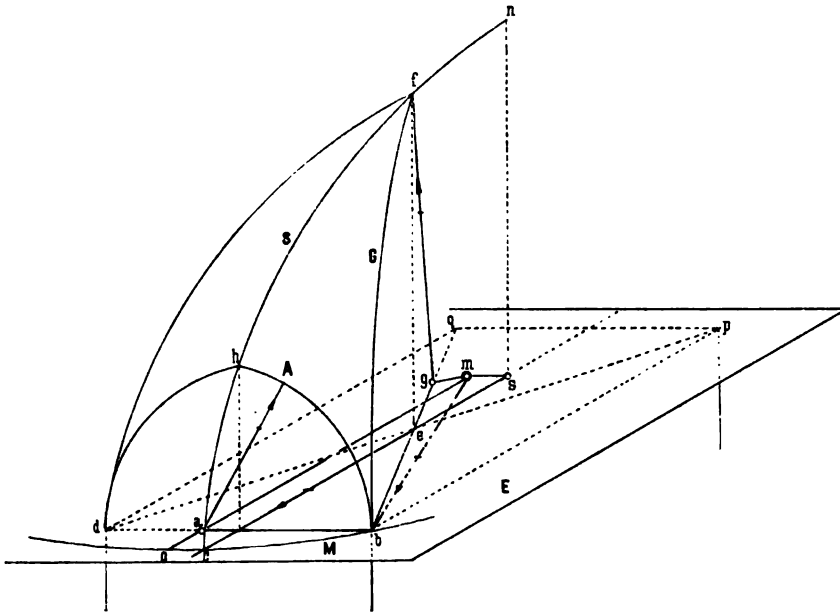


den früheren Wölbungsarten. Die Schichtenlagen, anfänglich wohl noch der Längsaxe der Kappe folgend, konnten rechtwinkelig zur Diagonalrippe geführt und dabei, mit entsprechender Bufung versehen, als einzelne Gewölbstreifen eingefügt werden.

Im letzteren Falle konnten diese bufigen Kappen reinen Kugelflächen oder, wie bei etwa gestelzten Stirnbogenrippen, kugelförmigen (sphäroidischen) Flächen angehören.

Ist z. B. $bdqp$ in Fig. 428 die rechteckige Grundfläche eines Kreuzgewölbes, dessen Scheitelpunkt f über dem Schnittpunkte e der Diagonalen bq und dp liegt, so möge bhd der aus zwei Kreisbogen bestehende Spitzbogen der Seite bd , so wie bfd der halbe, gleichfalls nach einem Kreisbogen gebildete Diagonalbogen über be sein. Die beiden Kreisbogen bh als A und bf als G erheben sich vom gemeinschaftlichen Punkte b aus über der wagrechten Kämpferebene E . Die Mittelpunkte a für A und g für G sind in bd , bzw. bq gleichfalls in dieser Ebene E gelegen. Beide Kreisbogen gehören einer Kugelfläche

Fig. 428.



an, deren Mittelpunkt m in der Ebene E enthalten ist, und von welcher ein größter Kreis M durch den gemeinschaftlichen Schnittpunkt b der Kreisbogen A und G gehen muß. Um den Mittelpunkt m zu bestimmen, sind in g auf bq und in a auf bd in der Ebene E Lothe zu errichten. Dieselben schneiden sich im gefuchten Punkt m . Die Gerade mb liefert den Halbmesser der Kugelfläche, welcher die Bogen A und G angehören. Der um m mit mb beschriebene Kreis M ist ein größter Kreis dieser Kugelfläche. Hätte man in ganz ähnlicher Weise auch für die beiden Kreisbogen dh und df die Kugelfläche bestimmt, welche im vorliegenden Falle denselben Halbmesser, wie die erste Kugelfläche, und ferner einen durch d gehenden größten Kreis besitzt, so schnitten sich beide Kugelflächen in der Scheitellinie hf der Gewölbkappe bfd . Diese Scheitellinie hf gehört als Schnittlinie der gleichen und symmetrisch gelegenen Kugelflächen einem Kreisbogen S an, welcher durch den Scheitelpunkt h des Spitzbogens bhd und den Scheitelpunkt f des Gewölbes geht. Die lothrechte Ebene dieses Kreisbogens trifft die Ebene E in der Geraden ce , d. h. in der wagrechten Projection der Scheitellinie der Gewölbkappe bfd . Auf dieser erweitert genommenen Geraden ist der Mittelpunkt s für den Kreisbogen S als Schnittpunkt des von m auf cs gefälltten Lothes zu bestimmen. Der Schnittpunkt c der Linie cs mit dem größten Kreise M ist der Endpunkt des Halbmessers sc des Kreisbogens S . Dem angegebenen Wege folgend, hätte man auch beim Festslegen der Spitzbogen der Seiten bp und dq , bzw. pq die Ausmittlung der zugehörigen Kugelflächen vornehmen können.

Die Ausführung der einzelnen Kappen in ringförmigen Streifen der ihnen angewiesenen Kugelflächen ist leicht zu bewirken und kann freihändig ohne eine

Unterfchalung erfolgen. Jede Kappe erhält dann ohne Weiteres eine den ermittelten Kugelflächen entsprechende Buſung. Sind die Randbogen geſtelzt, während die Diagonalbogen nicht geſtelzt ſind, ſo liegen die Mittelpunkte der benutzten Kreisbogen in verſchiedenen Ebenen. Die Gewölbkappen erhalten dann als Laibungsflächen nicht mehr die reinen Kugelflächen, ſondern kugelförmige Flächen, welche aber bei nicht zu bedeutender Stelzung der Randbogen doch nicht ſehr erheblich von der Kugelfläche abweichen.

Das Rippenſyſtem mit feinen buſigen Kappen und die Verwerthung des Spitzbogens bei der Formgeſtaltung der Rippen beſeitigte alle Einengungen in der Bildung der Kreuzgewölbe, welche beim römischen und beim romanischen Kreuzgewölbe ſich noch geltend gemacht hatten.

Wie auch die zu überdeckenden Raumbtheilungen oder Gewölbfelder in ihrer Grundrißform beſchaffen ſein mochten, regelmäſig oder unregelmäſig, das gothiſche Kreuzgewölbe geſtattete bei einer ausgiebigen Freiheit in der Behandlung eine zweckmäſige Anordnung und eine gediegene Ausführung der geplanten Wölbung. Zur Einſchränkung der Gröſſe der Gewölbkappen, zur Herbeiführung einer mäſigen Stärke derſelben und zur Erzielung einer reicheren Entfaltung des Kreuzgewölbes konnte das tragende Rippenſyſtem vervielfältigt werden. Gefetzmäſig geordnet, führte daſſelbe auf das ſechstheilige, acht- oder mehrtheilige Kreuzgewölbe. Traten die einzelnen, in gröſſerer Anzahl vorhandenen Rippen in ihrem Grundriſſe ſternartig geordnet zuſammen, ſo bildete ſich das ſog. Sterngewölbe. Durchſchnitten ſich die vielfachen Rippen netzartig, zwifchen ſich eine Menge Maſchen oder Zellen laſſend, welche nunmehr nicht beſondere Theile eines gewöhnlichen cylindriſchen Tonnengewölbes, wie in Fig. 277 (S. 164), bildeten, ſondern in geeigneter Weiſe mit buſigen Kappen, welche ſich gegen die umrahmenden Rippenſtücke legten, geſchloſſen wurden, ſo entſtand das ſog. Netzgewölbe.

Alle dieſe Wölbungen zeigen während ihrer Entwicklung und Anwendung die gröſſte Mannigfaltigkeit und einen bedeutenden Reichthum in der Anordnung ihrer Rippenſyſteme. Die Sucht nach immer reicheren Formen in der Geſtaltung dieſer Gewölbe führte zu den üppigſten, ja zuweilen phantaſtiſchſten Durchbildungen, die, wenn auch in mancher Beziehung überrafchend und lehrreich, doch zuweilen äufserſt willkürlich erſcheinen mußten.

Trotz des Aufwandes von vielem Fleiß und großer Kunſtfertigkeit wurde die Harmonie derartiger Gewölbanlagen, welche der Spätzeit der Gothik angehören, doch ſtark beeinträchtigt.

Die Kreuzgewölbe, dieſe wichtigen und hervorragenden Gewölbbildungen des romanischen und des gothiſchen Baustils, laſſen ſich nach dem Vorhergegangenen, um für die in der Jetztzeit zu ſchaffenden Kreuzgewölbe die Conſtructionen überſichtlich beſprechen zu können, in zwei Hauptgruppen zerlegen:

- 1) in Kreuzgewölbe mit vorwiegend cylindriſchen Gewölbkappen oder die cylindriſchen Kreuzgewölbe, wie ſolche bei dem römischen und dem älteren romanischen Gewölbe vorhanden waren, und
- 2) in Kreuzgewölbe mit Rippenſyſtem und dazwiſchen gewölbten Kappen, welche das eigentliche gothiſche Kreuzgewölbe bilden.

Beide Gewölbartn ſollen in ihrer beſonderen Conſtruction in Folgendem näher behandelt werden.

14. Kapitel.

Kreuzgewölbe im Besonderen.**a) Cylindrische Kreuzgewölbe.****1) Gestaltung der cylindrischen Kreuzgewölbe.**

Die Gestaltung der cylindrischen Kreuzgewölbe ist in den allgemeinen Grundzügen in Art. 235 (S. 339), bzw. Art. 236 (S. 341) besprochen und in Fig. 419 bis 422 veranschaulicht worden.

^{238.}
Gestaltung.

Bei diesen Gewölben ist im Besonderen, so weit eine einfachere Gestaltung derselben berücksichtigt wird, zu bemerken, daß

α) die Anzahl der Gewölbkappen der Seitenzahl des Grundrisses des zu überwölbenden Raumes entspricht;

β) die Stirnbogen oder Leitlinien dieser Kappen in der Regel sämtlich eine gleiche Pfeilhöhe erhalten;

γ) die Axen der Kappen gerade Linien sind, welche sämtlich in der wagrechten Kämpferebene liegen und, von den Mitten der wagrechten Projectionen der Stirnbogen auslaufend, sich in einem gemeinschaftlichen Punkte der Grundrissfigur des Gewölbes schneiden; dieser gemeinschaftliche Punkt ist die wagrechte Projection des Gewölbescheitels; meistens fällt derselbe mit dem Schwerpunkte der Grundrissfigur zusammen;

δ) die wagrechten Projectionen der Schnitt- oder Durchdringungslinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen gerade Linien sind, welche von den Ecken der Grundrissfigur nach der wagrechten Projection des Gewölbescheitels gezogen werden können; diese Schnittlinien liefern die Diagonalbogen, Gratlinien oder Grate des Kreuzgewölbes;

ε) die an den Ecken der Grundrissfigur zusammentretenden Stirn- und Gratlinien des Gewölbes ihren Gewölbefuß in der wagrechten Kämpferebene erhalten;

ζ) die Scheitellinien der Gewölbkappen gerade Linien sind, welche vom Scheitelpunkte der Stirnbogen nach dem Scheitelpunkte des ganzen Gewölbes zu ziehen sind; diese geraden Linien sind entweder wagrecht oder nach dem Gewölbescheitel aufsteigend; im letzteren Falle ist derselbe höher liegend angenommen, als die Scheitelpunkte der Stirnbogen, so daß hierdurch das cylindrische Kreuzgewölbe mit »Stechung« oder mit »Stich« entsteht.

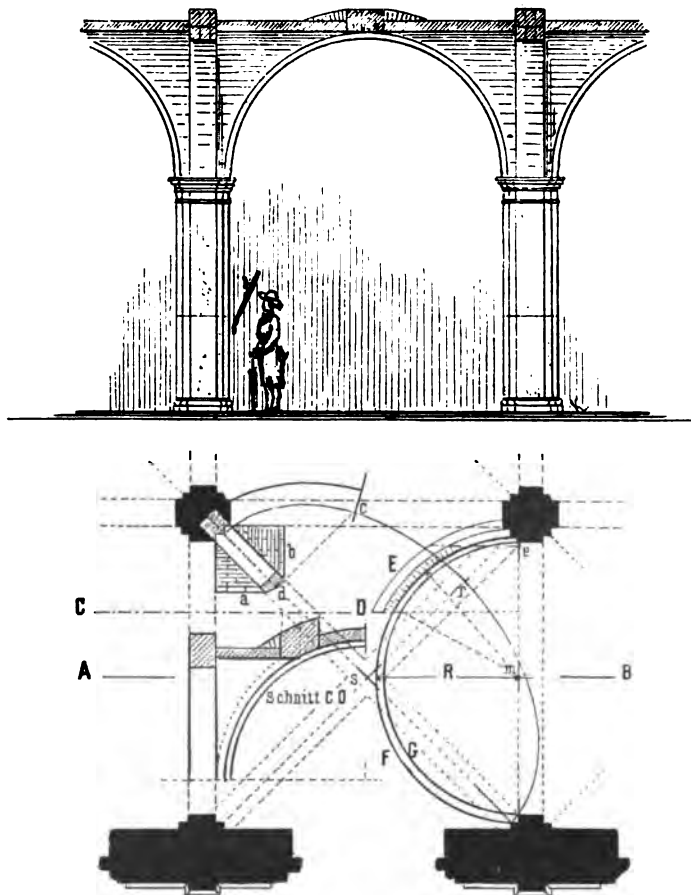
Die Grundrissfigur eines cylindrischen Kreuzgewölbes kann irgend eine ebene geradlinige, unter Umständen auch eine gemischtlinige, also hierbei eine von geraden und krummen Linien begrenzte Figur sein.

Je nachdem die Grundrissfigur des Kreuzgewölbes regelmäfsig oder unregelmäfsig gebildet ist, unterscheidet man auch regelmäfsige und unregelmäfsige Kreuzgewölbe.

Werden die Umfassungsmauern des Raumes, welche sämtlich als Stirnmauern des Kreuzgewölbes auftreten, den Rand- oder Stirnbogen entsprechend durch Gurtbogen offen gehalten, welche ihr Widerlager an besonderen Eckpfeilern des Raumes erhalten, so entsteht das offene Kreuzgewölbe. Sind die Stirnmauern, abgesehen von darin befindlichen Thür- oder Lichtöffnungen, als eigentliche Umfassungsmauern angeordnet, so erhält man das geschlossene Kreuzgewölbe.

Ist die Kämpferebene eines Kreuzgewölbes, z. B. bei Treppenanlagen, eine geneigte Ebene, so entsteht das ansteigende Kreuzgewölbe. Sind die Wöblinien der Gewölbkappen flache, gesetzmäßig gebildete ebene krumme Linien, so entwickelt sich das flachbogige oder flache Kreuzgewölbe, auch Kreuzkappengewölbe genannt. So mannigfach die Gestaltung des Kreuzgewölbes im Zusammenhange mit der Form seines Grundrisses und den grundlegenden Wöblinien der cylindrischen Gewölbkappen auch vorgenommen werden kann, so bleibt doch immerhin die eigentliche Ausmittlung der Hauptbestandtheile des Kreuzgewölbes, d. h. der Stirnlinien und der Gratlinien, verhältnismäßig einfach.

Fig. 429.

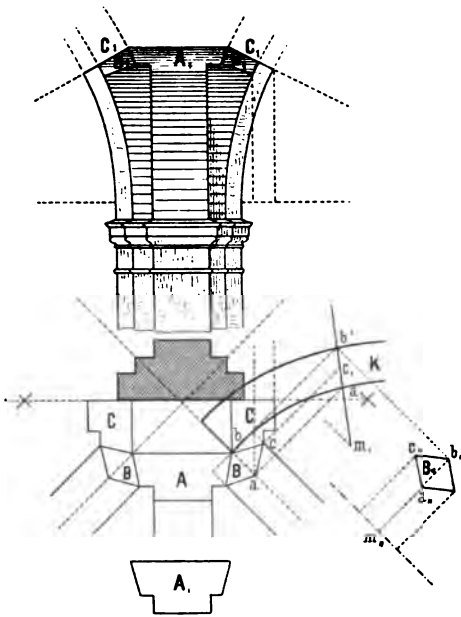


239.
Darstellung
des
Kreuzgewölbes. Fig. 429.

Am leichtesten sind diese Ausmittlungen bei einem cylindrischen Kreuzgewölbe über einem quadratischen Raume zu schaffen. Ein derartiges Kreuzgewölbe zeigt

Die Stirnlinien, bzw. die Wöblinien der vier zusammenschneidenden Gewölbkappen mit sich rechtwinkelig in s , dem Schnittpunkte der Diagonalen des quadratischen Grundrisses, kreuzenden Axen, sind durch den mit R um m beschriebenen Halbkreis F bestimmt. Bei der wagrechten Lage der Scheitellinien der sämtlichen Gewölbkappen ergibt sich die Form der Gratlinien über den Diagonalen des Raumes ohne Schwierigkeit je als eine halbe Ellipse E mit der großen Axe gleich der wagrechten Projection der Gratlinie und der halben kleinen Axe gleich dem Halbmesser R der Stirnlinien. Die Gurtbogen des hier gegebenen offenen Kreuzgewölbes sind ebenfalls Halbkreise. Dieselben sind mit dem

Fig. 430.



Halbmesser me beschrieben, welcher um so viel kleiner als R genommen ist, wie solches der Vorsprung der Vorlage innerhalb der Gurtbogenweite an den Widerlagspfeilern des Kreuzgewölbes bedingt.

Nach Festlegen dieser Bestimmungsstücke lassen sich, wie aus der Zeichnung hervorgeht, noch die Ansätze a, b der Gewölbkappe am Gratkörper d und eben so die Darstellungen der Schnitte nach AB , bezw. CD leicht ermitteln.

Auch die Anordnung des Ansatzes der Körper der Gurt-, bezw. Stirnbogen und der Gratbogen am Widerlagspfeiler ergibt sich nach Fig. 430 unter Anwendung einfachster Sätze der darstellenden Geometrie ohne Schwierigkeit. Die Ansatzflächen A, C der Gurt- und Stirnbogen, so wie B des Grates gehören Normalebenen an. Für den Grat K ist eine solche Ebene durch die Spur m, b , gekennzeichnet. Für die Gurt- und Stirnbogen ist die zugehörige Normalebene so geführt, daß die Schnittlinie derselben am Rücken dieser Bogen für die Flächen C , wie aus der Ansicht bei C , hervorgeht, dieselbe Höhenlage wie der Punkt b , am Gratbogen erhält. Wird das ganze Ansatzstück als ein besonderes Werkstück angefertigt, so ergibt sich ein sog. Anfänger des Kreuzgewölbes. Die Brettungen $A,, B,,$ für die An-

sätze der vom Anfänger ausgehenden Gurtbogen, bezw. Gratbogen lassen sich nach den Angaben der Zeichnung austragen.

Hätte der zu überwölbende Raum einen rechteckigen Grundriss erhalten, so müßte die Ausmittlung der Stirn- und Gratbogen nach Fig. 422 (S. 343) erfolgen.

Wählt man bei quadratischen oder rechteckigen Grundrissen von vornherein halbe Ellipsen als Stirnbogen, deren Pfeilhöhen gleich sind, so ergeben sich für die Gewölbkappen elliptische Cylinderflächen als Laibungsflächen. Die Gratlinie ist, wie

Fig. 431.

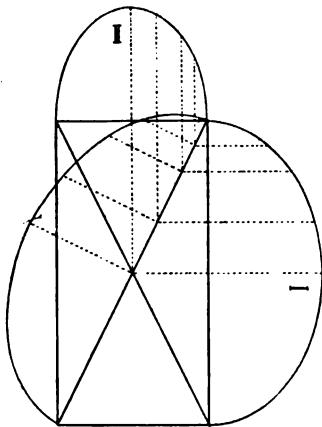


Fig. 432.

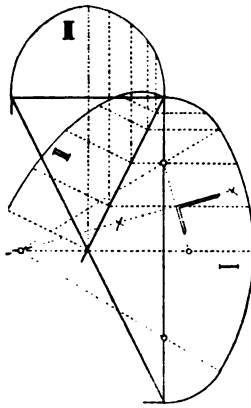


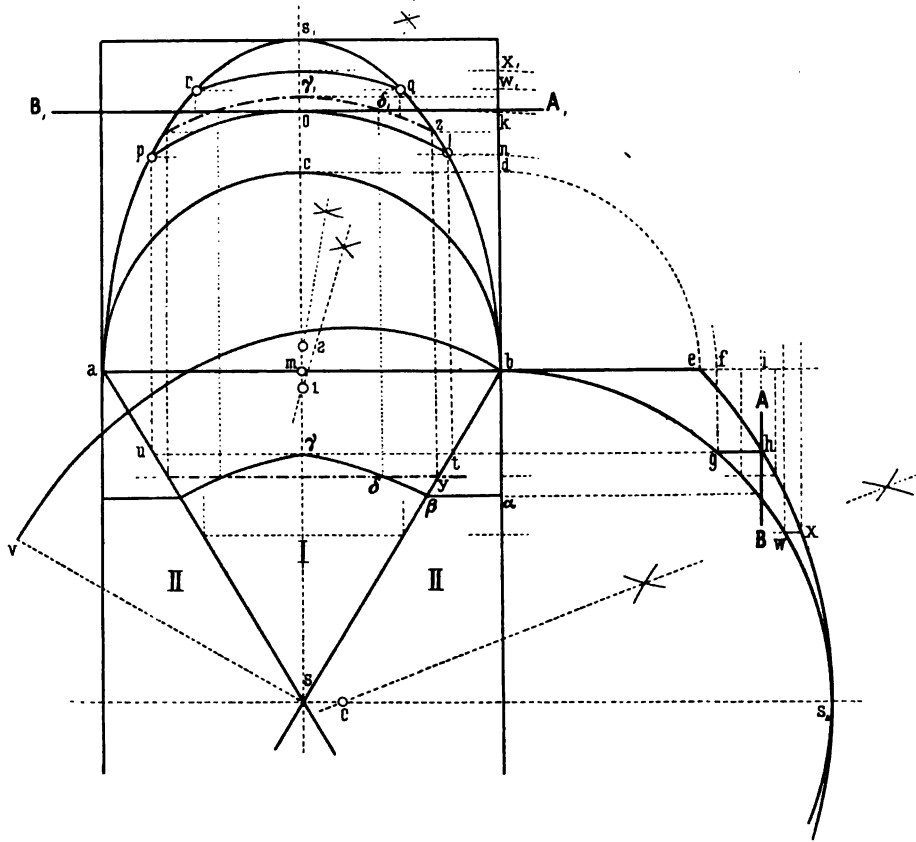
Fig. 431 ergibt, wiederum eine halbe Ellipse.

In ganz ähnlicher Weise würde man auch irgend eine andere gesetzmäßig gebildete Curve, z. B. einen Korbbogen I (Fig. 432), als Stirnbogen für eine Seite der Grundfigur annehmen können und, unter Benutzung desselben als Grundbogen, den Stirnbogen III und den Gratbogen II auszutragen haben. In allen diesen Fällen bleiben die Gewölbfächen allgemein immer cylindrische Flä-

chen, deren höchste Erzeugende als Scheitellinien des Gewölbes gerade und wagrechte Linien sind.

Kann bei quadratischem Grundriss jeder Stirnbogen als Halbkreis auftreten und ist danach beim ganzen Gewölbe die Durchführung gleicher cylindrischer Gewölbfächen möglich, so ist bei einem rechteckigen Grundriss jedoch, sobald aus architektonischen

Fig. 433.



Gründen die Forderung gestellt wird, daß bei Stirnbogen für die lange Seite des Rechteckes sowohl, als auch für die schmale Seite desselben ein Halbkreis verbleiben soll, eine Umgestaltung des cylindrischen Kreuzgewölbes erforderlich. Auf diesen Punkt ist bereits in Art. 236 (S. 345) bei Fig. 424 hingewiesen. Hier soll die Umgestaltung derartiger Kreuzgewölbe unter Benutzung von Fig. 433 im Besonderen behandelt werden.

Bei dem zur Hälfte gezeichneten rechteckigen Grundrisse sind die Stirnbogen als Halbkreise fest gelegt. Außerdem ist vorgeschrieben, daß die Laibungsflächen der am weitesten gespannten Gewölbkappen *II* cylindrische Gewölbflächen mit wagrecht liegenden Scheitellinien sein sollen. Wie bei Fig. 424 (S. 345) erwähnt, wird die Scheitellinie der Gewölbkappe *I* im Allgemeinen nicht als eine gerade Linie auftreten, welche unmittelbar vom Scheitelpunkte des kleinen Stirnbogens über *ab* nach dem Scheitel des Gewölbes über *s* aufsteigen könnte. Aus diesem Grunde kann man zweckmäßig die Scheitellinie über *ms* als einen Kreisbogen *es*,, annehmen, dessen Mittelpunkt *c* im Schnittpunkt des auf der Mitte einer Sehne *es*,, errichteten Lothes mit der durch *s*,, gezogenen Senkrechten liegt.

Wie aus der Zeichnung zu ersehen, ist *be* die lothrechte Projection der Pfeilhöhe des kleinen Randbogens, *s*,, die Projection des Scheitelpunktes des großen Stirnbogens und zugleich des Scheitelpunktes des Gewölbes selbst. Der Gratbogen *bv* über *bs*, bezw. über *as* wird unmittelbar nach dem Grundbogen *bs*,, als Vierteilellipse gefunden. In der lothrechten Projection *bs*,, decken sich Randbogen und Gratbogen als einer und derselben vorhin bestimmten cylindrischen Fläche angehörend. Für die Erzeugung der Laibungsfläche der Gewölbkappe *I* kann nunmehr der folgende Weg eingeschlagen werden.

Schneidet man die Gewölbfläche *I* durch eine lothrechte, parallel zu *ab* stehende Ebene *ut*, so

wird die lothrechte Projection bs , der Gratbogen bs und as in g und die lothrechte Projection cs , der Scheitellinie in h von dieser Ebene geschnitten. Die hier gewonnene Schnittlinie gh sei die lothrechte Projection eines Kreisbogens, welcher in der Ebene ut als Erzeugende der Gewölbfläche I auftreten soll. Zieht man durch g und h die wagrechten Linien gf , bzw. hi , trägt man $bn = bf$ und $bh = bi$ in der lothrechten Projection des Gewölbes über der Seite ab ab, so schneidet eine durch n geführte wagrechte Linie die lothrechten Projectionen as , und bs , der Gratbogen in den Punkten p und l , während eine durch h geführte wagrechte Linie A, B , die lothrechte Projection cs , der Scheitellinie der Gewölbkappe I im Punkte o trifft. Der durch die erhaltenen drei Punkte p , l und o bestimmte Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in r auf der lothrechten s, t liegt, ist eine Erzeugende der Gewölbfläche I . In gleicher Weise ist auch für eine Ebene wx der erzeugende Kreisbogen qr mit dem Mittelpunkte z gefunden.

Die Gewölbfläche I wird hiernach eine kugelförmige (sphäroidische) Fläche.

Ein wagrecht geführter Schnitt AB , bzw. A, B , liefert die Schnittlinie $\alpha\beta\gamma$ u. f. f. Hiervon gehört die gerade Strecke $\alpha\beta$ der geraden Cylinderfläche II an, während die Curve $\beta\gamma$ der sphäroidischen Gewölbfläche I zukommt. Ein Punkt δ dieser Curve liegt im Durchstoßpunkte eines erzeugenden Kreisbogens z mit der Geraden A, B , wobei gleichzeitig dieser Kreisbogen der lothrechten Ebene y angehört.

Bei dieser Anordnung der Gewölbflächen ist der Scheitelpunkt des Gewölbes in Bezug auf den höchsten Punkt des Randbogens der Gewölbkappen I um ein Mafs cs , höher gelegt. Man bezeichnet dieses Ansteigen der Gewölbkappen, wie bereits gesagt, mit dem Namen Stechung oder Stich. Für die Kappen II tritt hier keine Stechung auf.

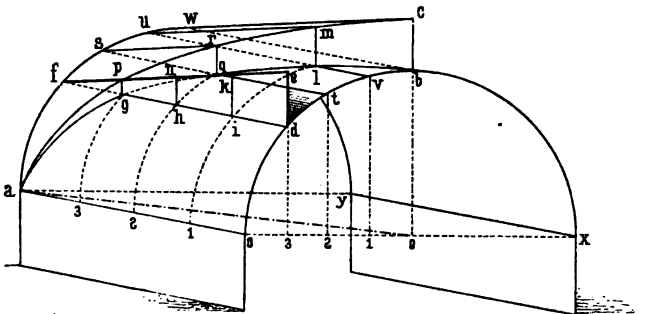
Das Mafs für die Höhe der Stechung kann nach Wunsch mehr oder weniger bedeutend genommen werden, je nachdem der Scheitel des Kreuzgewölbes in Bezug auf die Scheitelpunkte der Stirnbogen desselben mehr oder weniger gehoben erscheinen soll.

Ein ungefähres Mafs dieser Stichhöhe ist $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{30}$ der ganzen Weite des größten Gratbogens.

Bei den einfachen cylindrischen Kreuzgewölben, gleichgiltig, welche Grundriffsform dabei vorliegt, kann man aber jeder Gewölbkappe eine Stechung geben. Dabei nimmt man in der Regel, ausgehend von einem einzigen Stirnbogen, die Pfeilhöhen sämtlicher Stirnbogen gleich und gestaltet diese Stirnbogen vollständig abhängig vom gewählten Grundbogen. Die Erzeugenden der Gewölbflächen sind von den Stirnbogen aus ansteigende gerade Linien, welche von entsprechend liegenden Punkten der Stirnbogen auslaufen. Diese Linien liegen in lothrechten Ebenen, welche für jede Kappe parallel der Kappenaxe stehen. Sie schneiden sich in entsprechenden Punkten der Gratbogen von je zwei zusammentreffenden Kappen. Die höchsten dieser erzeugenden Linien sind die ansteigenden Scheitellinien der Kappen. Sie endigen sämtlich im Scheitelpunkte des nunmehr durchweg mit Stechung versehenen Kreuzgewölbes. Bei dieser Umformung der Gewölbflächen bleibt bei der be-

241.
Kreuzgewölbe
mit
Stechung.

Fig. 434.



stimmt vorgeschriebenen Abhängigkeit der Stirnbogen und weiter auch der Gratbogen das Wesen der cylindrischen Kreuzgewölbe noch gewahrt.

Ist $oayx$ in Fig. 434 der Grundriss der halbkreisförmigen geraden Cylinderfläche mit dem Stirnbogen awy , bzw. obx und schneidet man diese Fläche durch die lothrechte Ebene aob , so ergibt

sich als Schnittlinie die Vierteilellipse $aglb$. Dieselbe kann als Gratlinie an einer halbkreisförmigen Kappe eines Kreuzgewölbes ohne Stechung angesehen werden.

Die höchste Erzeugende oder die Scheitellinie dieser Kappe würde die wagrechte Linie wb sein. Soll nun der Punkt b um eine Höhe bc gehoben werden, so nimmt die Scheitellinie die Lage wc an. Theilt man den Halbmesser oo in beliebig viele gleiche Theile, z. B. hier in vier Strecken, ein und legt man durch diese Theilpunkte $1, 2, 3$ lothrechte, zu oa , bzw. zur Axe der Cylinderfläche parallele Ebenen, so erhält man die wagrechten Erzeugenden uv, st, fd als Schnittlinien auf der Cylinderfläche. Läßt man nun wiederum jede dieser Erzeugenden, z. B. fd , für den Punkt d um die Höhe de gleich der für wb fest gesetzten Höhe bc heben, so ist fe eine Erzeugende der mit Stechung behafteten neuen Cylinderfläche. Die Ebene aob schneidet, gehörig erweitert, diese neue Cylinderfläche in einem Ellipsenstücke $aprmc$. Einzelne Punkte dieser Curve lassen sich leicht bestimmen. Theilt man oa ebenfalls in so viele gleiche Theile ein, als für oo genommen waren, also hier in vier Strecken, und legt man durch diese Theilpunkte lothrechte, mit der Stirnebene obx parallel stehende Ebenen, so wird die ursprüngliche Cylinderfläche nach Halbkreisen geschnitten, welche die Vierteilellipse ab der Reihe nach in den Punkten g, q und l treffen, während die Halbkreise $3, 2$ und 1 z. B. die Erzeugende fd in den Punkten g, h und i schneiden. Entsprechend der ansteigenden Erzeugenden fe , bzw. wc der neuen Cylinderfläche muß der Punkt g der Ebenen 3 und 2 um gp , der Punkt q der Ebenen 2 und 1 um $qr = hn$ und der Punkt l der Ebenen 1 und 0 um $lm = ik$ gehoben werden, um den proportionalen Theilungen der Strecken oo und oa entsprechend auch proportionale Höhen des Stechungsmaßes de , bzw. bc für die neue Schnittlinie ac , bzw. für die Erzeugenden der neuen Cylinderflächen zu erhalten. Derartige Erzeugende sind fp, sr, um und wc .

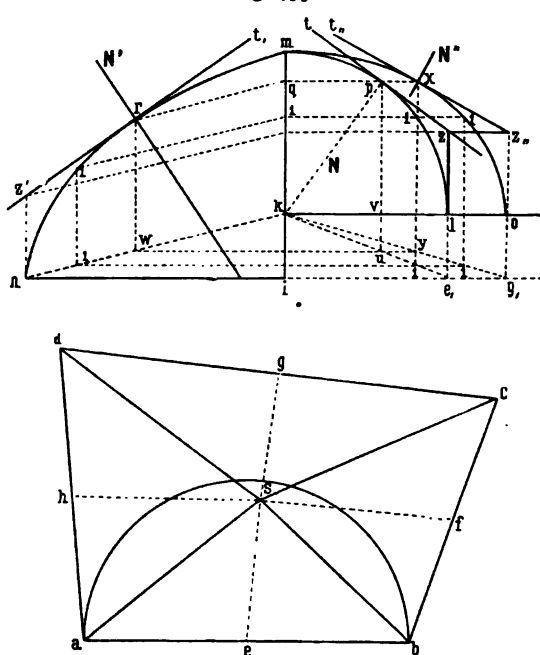
Bei cylindrischen Kreuzgewölben mit Stechung über einem unregelmäßigen Grundriss erfolgt die Ausmittelung der Stirn- und Gratabogen nach dem gewählten Grundbogen gleichfalls in der eben beschriebenen Weise. Man kann sich dabei des in Fig. 435 benutzten Verfahrens bedienen.

Das unregelmäßige Viereck $abcd$ sei der Grundriss eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung. Der Schwerpunkt s des Viereckes ist die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes. Die von s nach den Ecken a, b, c und d gezogenen geraden Linien sind die wagrechten Projectionen der Gratabogen. Für eine Seite ab , deren Länge etwa der durchschnittlichen Länge von allen vier Seiten entspricht, ist der Grundbogen des Kreuzgewölbes als Halbkreis angenommen. Die Axen der Gewölbkappen se, sf, sg und sh sind gerade Linien, welche von s nach den Mitten der Seiten gezogen wurden.

Das Maß der Stechung sei gegeben und gleich ik . Soll nun z. B. der Gratabogen über cs und ein Stirnbogen für die Seite cd ausgetragen werden, so zeichne man das rechtwinklige Axenkreuz mi, ko , wobei die Lothrechte mk gleich dem Halbmesser ea des Grundbogens für die Seite ab , die Strecke ki gleich der gegebenen Stechung ist. Mit $km = ea$ beschreibe man den Viertelkreis ml ; alsdann erhält man die Hälfte des Grundbogens. Durch i ziehe man eine wagrechte Linie ng , nehme $in = sc$ gleich der Weite des gefuchten Gratabogens über cs , und $ie = kl = km$ gleich dem Halbmesser des Grundbogens. Zieht man ke und kn , so lassen sich mit Hilfe des Dreieckes nke , leicht die proportionalen Theilungen für den Grund- und Gratabogen, so wie für die Stechungshöhe ermitteln.

Zieht man ganz beliebig die Linie wu parallel zu ne , so wird kn in w und ke in u geschnitten. Führt man durch diese Punkte parallele Linien zu km , so trifft der Strahl up den hier nur zur Hälfte

Fig. 435.



gezeichneten Grundbogen ml im Punkte p . Führt man durch p die Gerade pq parallel zu ne , und durch den auf km gelegenen Punkt q eine Parallele qr zu kn , so ist der Schnitt r dieses Strahles mit wr ein Gratbogenpunkt.

Ein in gleicher Weise geführter Linienzug $1 \dots 1$ liefert den Gratbogenpunkt 1 u. f. f.

Nach der Zeichnung ist $vp = wr$. Wäre keine Stechung vorhanden, so würde der Punkt r nur um das Maß wr , bezw. vp über der wagrechten Linie (Kämpferlinie) ni liegen. Beim Vorhandensein der Stechung ist aber die Strecke wr um dasselbe Maß zu vermehren, als die wagrechte Linie wu , von welcher der Punkt r abhängig ist, über der Linie ni sich erhebt. Im Punkte n ist die Stechungshöhe gleich Null; im Punkte i ist dieselbe gleich ik . Proportionale Theilungen der Strecken kn und ke , durch die Strahlen wu , 11 u. f. f. liefern auch proportionale Stechungshöhen.

Für den Stirnbogen der Seite cd ist nur die Austragung seiner Hälfte nothwendig, da hiernach die andere Hälfte desselben leicht hinzugefügt werden kann. Da für diesen Bogen keine Stechung, sondern nur eine proportionale Theilung seiner Weite in Frage kommt, so wird zunächst $ko = ig, = cg$ abgetragen und die Linie kg , gezogen. Der verlängerte Strahl wu schneidet kg , in y . Die Lothrechte yx wird von der verlängerten Geraden qp , wobei p dem Schnitt der Geraden wu mit ke , entspricht, im Punkte x des gesuchten halben Stirnbogens mo getroffen. In gleicher Weise ist für den Punkt 1 u. f. f. dieses Stirnbogens zu verfahren. Will man für die Punkte r und x , welche vom Punkte p des Grundbogens abhängig sind, die Normale N_r , bezw. N_x , fest legen, so führt man in p die Tangente ts an den Bogen ml . Diese Tangente trifft das in l auf kl errichtete Loth in der Höhe ls . Trägt man auf den Lothrechten ns , und os , diese Höhe ab, so daß $ns, = os, = ls$ ist, zieht man alsdann die Strahlen s, t , durch r und s, t , durch x , so sind dieselben Tangenten in den Elementen r und x der zugehörigen Grat-, bezw. Stirnlinie. Die in r und x auf s, t , bezw. s, t , errichteten Lothe sind die gesuchten Normalen in diesen Elementen. Nach diesen Angaben sind in einem und demselben Plane sämmtliche Grat- und Stirnbogen eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung ohne Schwierigkeit zusammenzutragen.

Bemerkt sei noch, daß beim Halbkreise als Grundbogen der hiervon abhängig gemachte Gratbogen einer Ellipse angehört, wofür bei der gewählten Stechung ik die Geraden kn und km halbe conjugirte Durchmesser sind. Die reellen Axen dieser Ellipse können nach dem in Art. 135 (S. 176) Mitgetheilten ermittelt werden. Der Stirnbogen für cd wird hier eine Halbellipse mit der halben großen Axe ko und der halben kleinen Axe km .

Wird statt der geraden Stechungslinie eine Bogenlinie in Anwendung gebracht, so entstehen Kreuzgewölbe mit »Bogenstich«. Die Gewölbflächen werden alsdann sphäroidisch.

Die Ausmittlung der Grat- und Stirnbogen könnte, wie in Fig. 433 für die Gewölbkappe I gezeigt ist, für alle Kappen durchgeführt werden, oder dieselbe wird, wie Fig. 436 angiebt, vorgenommen. In derselben ist gef eine Ecke irgend eines unregelmäßigen Kreuzgewölbes. Für die Seite ef sei ein Halbkreis als Grundbogen für das Kreuzgewölbe gewählt. Die Scheitellinie der Gewölbkappe esf sei die beliebig angenommene Bogenlinie ik ; dieselbe bestimmt den Bogenstich.

Um irgend einen Punkt o des Gratbogens C über t auf es zu bestimmen, zieht man durch t die Gerade tr parallel zur Axe si der Grundbogenkappe. Dieselbe ist die wagrechte Projection einer Erzeugenden dieser Kappe. Ihr Endpunkt am Stirnbogen besitzt die lothrechte Entfernung $ra = b$ über der Kämpferebene, während ihr Endpunkt am Gratbogen eine Höhe $to = b + y$ über dieser Ebene annimmt. Der Zuwachs y von b entspricht dem für den Gratpunkt o entstehenden Maße des Bogenstiches. Um dieses Maß zu erhalten, ist parallel zu ef eine lothrechte Ebene tw zu führen, welche für die Stechungslinie in Bezug auf is die Ordinate y liefert. Für den Stirnbogen B ergibt sich unter Benutzung der von t parallel zu sm angegebenen Erzeugenden tv sofort die Höhenlage des Punktes a als $va = b$ über der Kämpferebene.

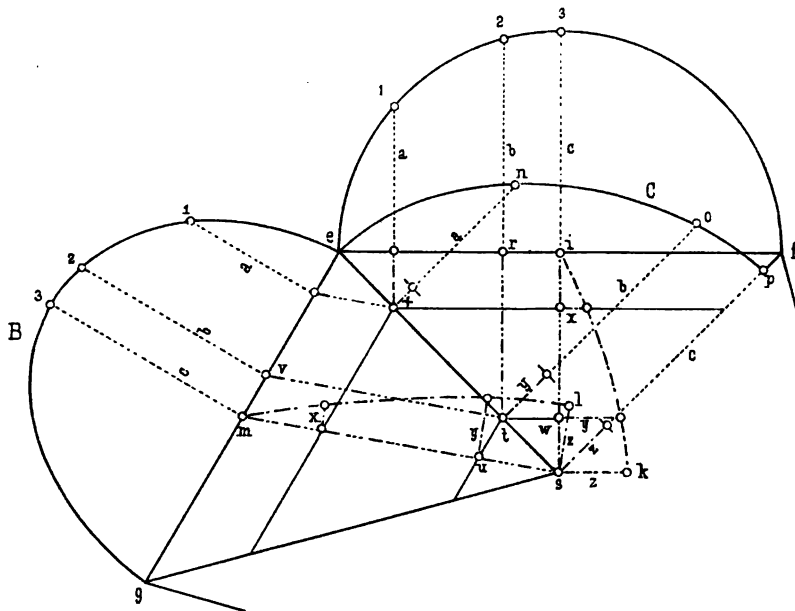
Unter Beobachtung der Bezeichnungen in Fig. 436 läßt sich die Bestimmung einer größeren Anzahl von Punkten des Gratbogens C , des Stirnbogens B und auch der Scheitellinie ml der zweiten Gewölbkappe esg ohne Weiteres treffen. Wäre hier statt der Bogenstichlinie ik eine gerade Stechungslinie gegeben, so hätte das Austragen der Grat- und Stirnlinien unter Benutzung dieser Stechungslinie nach

einem gleichen Verfahren stattfinden können. Dasselbe entspricht der bereits in Art. 135 (S. 174) erwähnten fog. Vergatterung.

242.
Kreuzkappen-
gewölbe.

Ist der Grundbogen irgend ein Flachbogen, so ist das Festlegen der Gratbogen, Stirnlinien, Scheitellinien u. f. f. für ein nun entstehendes flaches Kreuzgewölbe oder Kreuzkappengewölbe mit oder ohne Stechung unter Benutzung einer geraden oder einer bogenförmigen Stechungslinie nach dem Vorgetragenen gleichfalls zu bewirken. Bei sehr flachen cylindrischen Kreuzkappengewölben treten die Grate mit nur geringer Ausprägung vor den Wölbflächen auf, wenn nicht vorweg eine große Stechungshöhe angenommen wird. Aus diesem Grunde wählt man für derartige Gewölbe zweckmäßig einen Bogenstich, um dann sphäroidische Gewölbkappen zu schaffen, welche die Form des Kreuzgewölbes zum schärferen Ausdruck bringen, als die cylindrischen

Fig. 436.



Kappen. Für den Grundbogen dieser Gewölbe kann man passend $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ seiner Spannweite zur Pfeilhöhe annehmen.

243.
Steigende
Kreuzgewölbe.

Die steigenden Kreuzgewölbe finden bei Treppenanlagen mehrfach Anwendung. Ihre Gestaltung richtet sich vollständig, obgleich ihre Kämpferebene eine schiefe Ebene ist, nach den für das Kreuzgewölbe mit wagrechter Ebene angeführten grundlegenden Ausmittlungen.

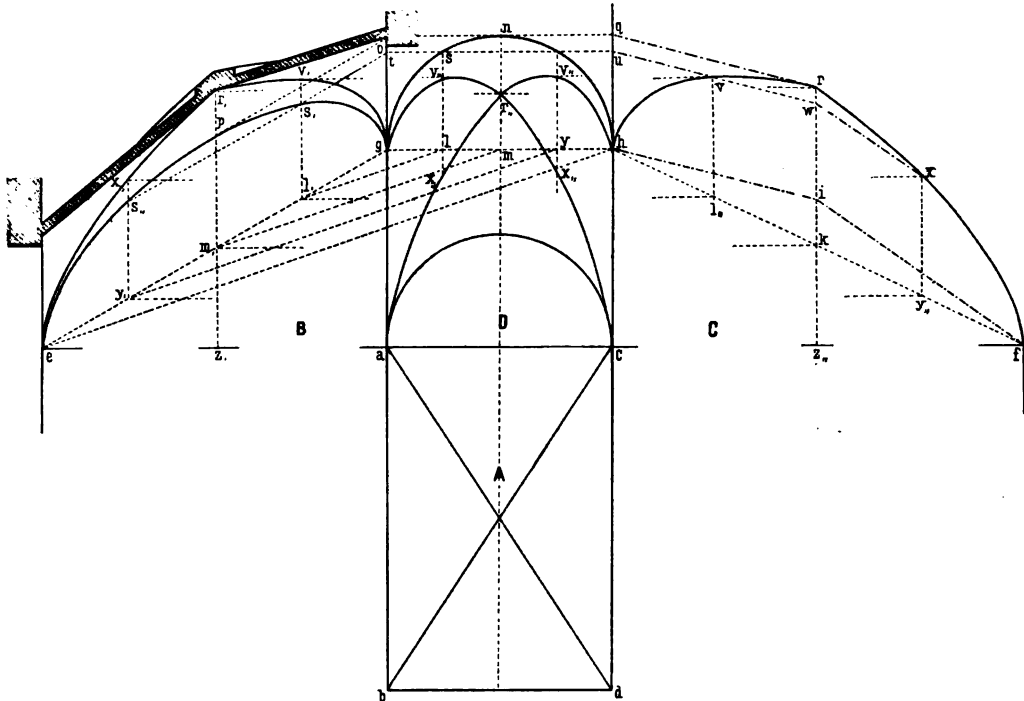
In Fig. 437 ist die Entwicklung der Hauptstücke für ein cylindrisches steigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Grundriss mit einem Halbkreise als Randbogen für die kleinen Rechtecksseiten ac und bd und einer Stichhöhe ik unter Benutzung der fog. Vergatterung vollständig gegeben. Aus der Zeichnung sind ohne Weiteres die Bestimmungen der Gratbogen in C , der Stirnbogen über ab und cd in B , so wie die Anhaltspunkte für die Darstellung der Projection der Gewölbflächen in D zu entnehmen.

Steigende Kreuzgewölbe können gleichfalls eine Gestaltung als flache steigende Kreuzkappen erhalten. Dann sind jedoch hierfür wieder passender, statt cylindrischer Kappen, solche mit Bogenstich anzuwenden. Dasselbe gilt auch für steigende Kreuzgewölbe mit verhältnißmäßig großer Längenausdehnung, damit alsdann bei diesen Gewölben die Gratlinien scharf ausgeprägt erscheinen.

Bei Kreuzgewölben über quadratischen Grundrissen sind beim Feststellen der sämtlichen Stirnbogen als gleiche Halbkreise die Laibungsflächen der Gewölbkappen oft zweckmäßig je für sich als Flächen eines geraden Kegels mit wagrechter, in der Kämpferebene liegender Axe einzuführen. Diese Ueberleitung der cylindrischen Gewölbflächen in Kegelflächen bietet einige Vortheile. Die Gratabogen treten mehr spitzenartig auf und erscheinen freier gehoben, als die Gratabogen der selbst mit

244.
Kegelförmige
Kreuzgewölbe.

Fig. 437.



Stechung behafteten cylindrischen Kreuzgewölbe über quadratischer Grundfläche. In Folge hiervon ist auch das Emporsteigen der Kappenflächen ausdrucksvoller.

In Fig. 438 ist die Gestaltung eines solchen Kreuzgewölbes für den quadratischen Grundriss $abcd$ entwickelt.

Der durch die Ecken abd des Grundrisses gelegte Halbkreis mit dem Halbmesser sa soll für die zu erzeugenden Kegelflächen maßgebend werden. Die Kegelaxe X geht durch s , d. i. durch die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes, und steht rechtwinkelig auf der Seite ac . Das in s auf der Axe X errichtete Loth trifft den bezeichneten Halbkreis in e . Die durch e und a bis m auf X geführte Gerade ist eine in der Kämpferlinie liegende äußerste Seitenlinie; der Punkt m ist die Spitze des Kegels und die von m durch c bis v gezogene gerade Linie eine zweite äußerste Seitenlinie desselben.

Da außerdem durch jede rechtwinkelig zur Kegelaxe geführte Ebene der Kegel nach einem Kreise, bzw. die Kegelhälfte nach einem Halbkreise geschnitten werden soll, welcher für die Ebene ac der Stirnbogen des Gewölbes wird, so ist nunmehr die in Benutzung zu nehmende Kegelfläche vollständig bestimmt. Schneidet man diese Kegelfläche nach av in der Richtung der Gratebene, so wird die Schnittlinie eine

Ellipse mit der halben großen Axe $ao = ov$ und der halben kleinen Axe op . Letztere ergibt sich mit Hilfe des Kegelschnittes der Ebene rt , wie aus der Abbildung zu ersehen, als das Loth go auf to .

Das Stück anb dieser Ellipse ist der Gratabogen über as . Diefem Ellipsenstücke entsprechen auch

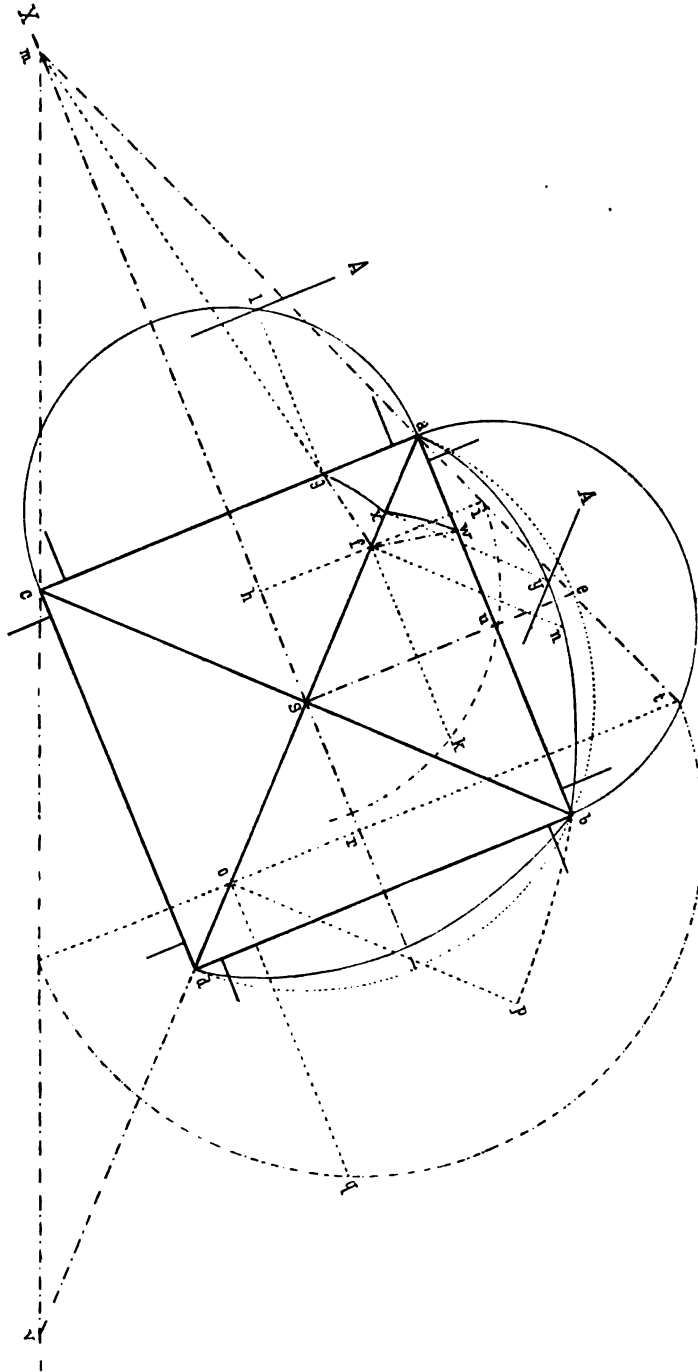


Fig. 438.

die Gratabogen über ds , bs und es . Zwischen denselben liegen die Kegelflächen, welche ebenfalls der Kegelfläche über asc entsprechen, für welche die Ausmittlung vorgenommen wurde. Eine wagrechte Ebene A würde eine Schnittlinie mit der wagrechten Projection gxw liefern. Diefelbe ist, wie aus der Zeichnung hervorgeht, mit Hilfe der Projectionen der Erzeugenden mf , bzw. fw der sich durchdringenden

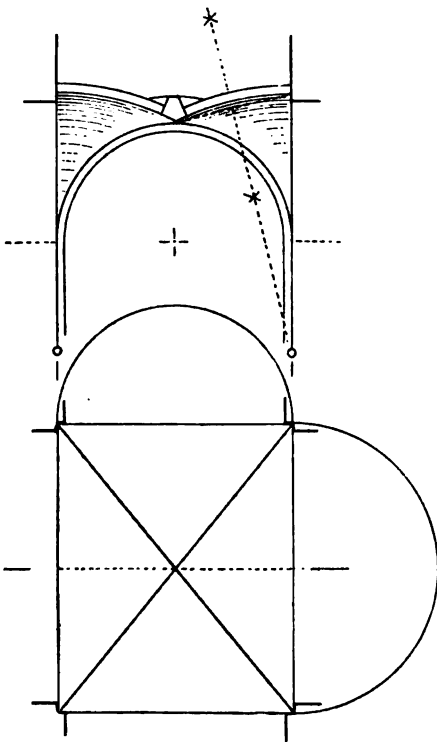
Kegelflächen leicht zu bestimmen. Bei der Gleichheit dieser Kegelflächen ist $ag = aw$. Noch sei bemerkt, daß auch $fn = fk$ ist. Die Scheitellinien der Wölbflächen sind offenbar Theile höchster Seitenlinien der Kegelflächen, und danach ist die Stechungshöhe ue auch ohne Weiteres mittels der äußeren Seitenlinie ae zu erhalten.

Will man bei rechteckigen oder auch bei unregelmäßigen Grundrissen kegelförmige Kappen mit cylindrischen oder sphäroidischen Gewölbflächen vereinigen, so betrachtet man die Kegelfläche einer einzelnen Kappe als Ausgangsfläche und bringt alle übrigen Gewölbflächen davon in Abhängigkeit. Hierbei hat man nur wiederholt das im Vorhergehenden Gefagte in Anwendung zu bringen, so daß besondere Erörterungen hierzu nicht nöthig werden.

Den Gegensatz zu den Kreuzgewölben mit Stechung, bezw. mit wagrecht liegenden Scheitellinien bilden die Kreuzgewölbe mit gefenktem Scheitelpunkte. Dieser Punkt

245.
Kreuzgewölbe
mit gefenktem
Scheitel.

Fig. 439.



liegt alsdann entweder tiefer als die Scheitelpunkte sämtlicher Stirnbogen, oder nur tiefer als die Scheitelpunkte einzelner Randbogen. Eine solche Gestaltung der Kreuzgewölbe kann wohl bei rechteckigen Räumen vorkommen, wenn alle Stirnbogen Halbkreise werden sollen und die Länge des Rechteckes seine Breite nicht zu sehr überwiegt. Alsdann kann nach Fig. 439 die Scheitelhöhe des Randbogens der schmalen Seite gleich der Scheitelhöhe des Gewölbes selbst genommen werden, so daß die Kappen der schmalen Seiten geraden Cylinderflächen angehören. Da die Scheitelpunkte der Halbkreise der langen Seiten höher liegen, als der Gewölbscheitel, so fällt die Scheitellinie der Kappen dieser Seiten vom Stirnbogen nach dem Gewölbscheitel ab. Diese Kappen werden alsdann am zweckmäßigsten mit sphäroidischen Flächen behaftet. Die Ausmittlung dieser Flächen kann entsprechend den in Art. 236 (S. 345), bezw. Art. 240 (S. 353) Gefagten erfolgen. Im Allgemeinen ist die Anordnung von cylindrischen Kreuzgewölben mit gefenkt

tem Scheitel von weniger günstigem Eindrucke begleitet, als diejenige, wobei den Gewölbkappen eine entsprechende Stechung gegeben ist.

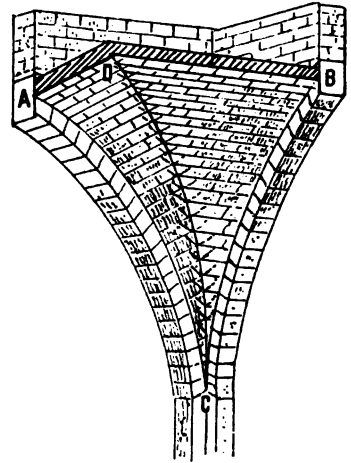
2) Stärke der cylindrischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

Die Gewölbkappen der cylindrischen Kreuzgewölbe sind Theile eines Tonnengewölbes, welche in der Ebene der Grate in Verbindung, bezw. in einer Schnittfläche zusammentreten oder besser an einem selbständig ausgeführten Gratkörper ihr Widerlager finden. Wie das Zusammenfügen der Gewölbkappen auch vorgenommen wird, immer wird im Wesentlichen die Summe der im Gewölbsystem eines Kreuzgewölbes durch sein Eigengewicht und seine Belastung wach gerufenen Kräfte auf den in der Kämpferebene gelegenen Fuß der Gewölbkappen übertragen. Da für

246.
Grundlagen.

die zusammengefügt Kappen die Fußflächen sich streng genommen auf eine gerade Linie herabmindern würden, so folgt, daß bei den Kreuzgewölben in der Ausführung für den Gewölbefuß nicht eine Linie, bzw. eine Schneide, sondern eine wirkliche Widerlagsfläche mit darunter befindlichem Stützkörper zu schaffen ist. Diese Stützkörper, welche immer am Fuße der zusammentretenden Stirn- und Gratabogen, also, der Gestaltung des Kreuzgewölbes gemäß, an den Ecken der mit Kreuzgewölben zu überdeckenden Räume oder an den Ecken der einzelnen Raumabtheilungen größerer Räume anzulegen sind, bilden die Widerlager der Gewölb-Construction.

Fig. 440.



Wenn nun auch bei untergeordneten Kreuzgewölben, d. h. solchen Gewölben, welchen nur eine geringe Spannweite und außer ihrem Eigengewichte keine weitere Belastung zugewiesen wird, wie nach Fig. 440 angenommen wurde, ein einfaches Zusammenfügen der Gewölbkappen *A* und *B* in und an der Ebene des Gratabogens *D* möglich ist und hiernach ein Stützkörper am Gewölbefuß *C* unter Benutzung von besonderen Gurt- oder Scheidebogen des Gewölbefeldes oder Gewölbejoches in geeigneter Weise gebildet werden kann, so ist doch bei den mit einigermaßen ausgedehnten Spannweiten in gewöhnlichen Fällen zu schaffenden Kreuzgewölben die Herstellung von besonderen Gratkörpern angezeigt, welche das Widerlager für die Gewölbkörper auf der ganzen Strecke ihrer an den Graten stattfindenden Anlehnung bieten und in ihren Fußflächen sich auf den eigentlichen Stützkörper legen. Diese Körper der Grate werden zweckmäßig als besondere Gewölbe mit geringer Tiefe, gleichsam als Träger der Kreuzgewölbkappen, in mehr oder weniger großer Stärke selbständig für sich ausgeführt oder entsprechend verstärkt mit dem Mauerwerk der Kappen in Zusammenhang gebracht. Immerhin sind dieselben der Bestimmung unterworfen, den von den Gewölbkappen erzeugten Druck aufzunehmen und denselben in Verbindung mit den in ihnen selbst wachgerufenen Druckkräften auf die vorhin bezeichneten Stützkörper oder eigentlichen Widerlager des gesammten Gewölbsystems zu übertragen.

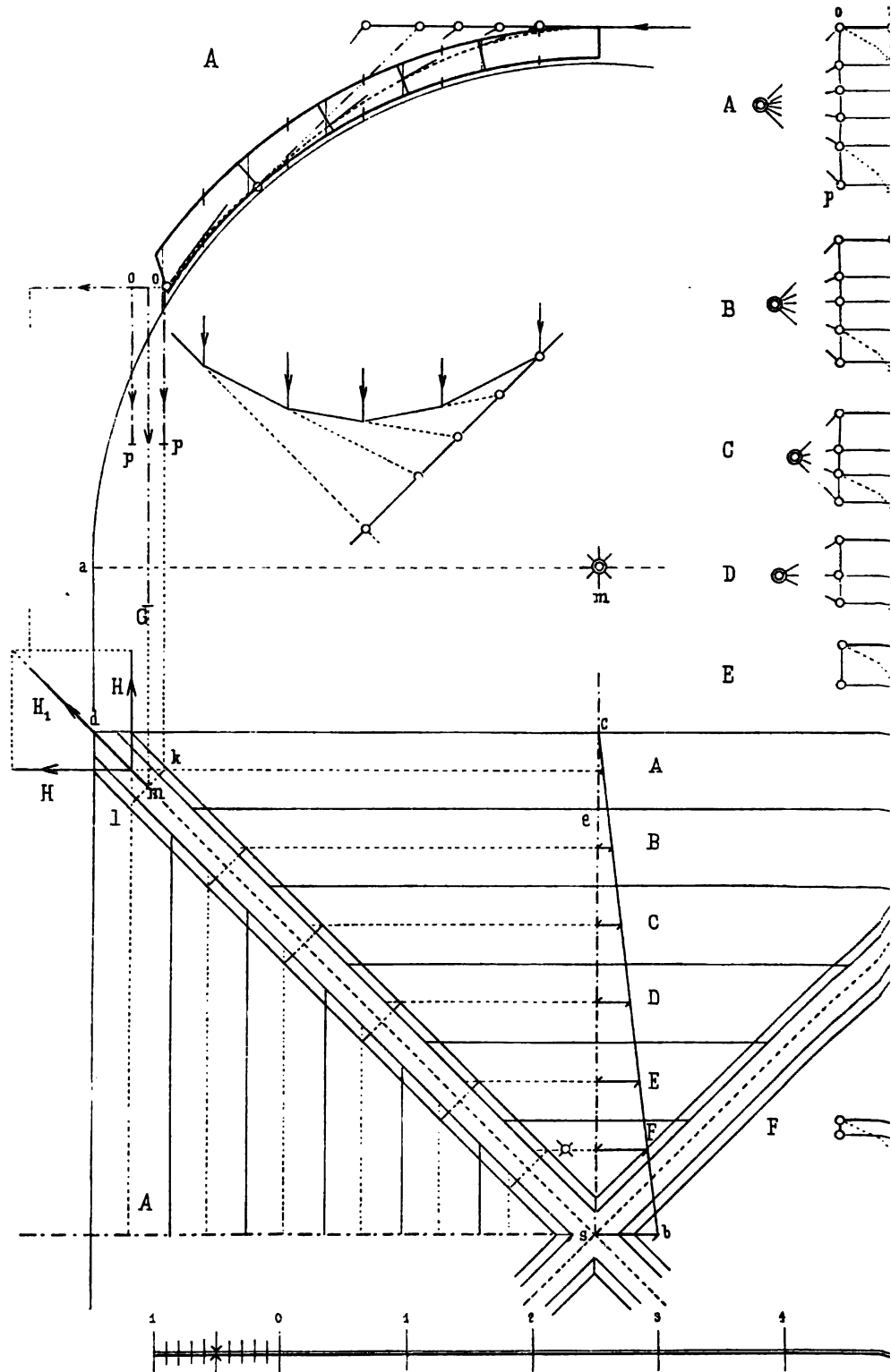
Aus diesen Gründen sind zur Ermittlung der Stärke der Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager Untersuchungen anzustellen, welche sich wesentlich zu erstrecken haben auf die Stabilität:

- α) der Gewölbkappen,
- β) der Gratabogen und
- γ) der Widerlager an den Ecken des Gewölbes.

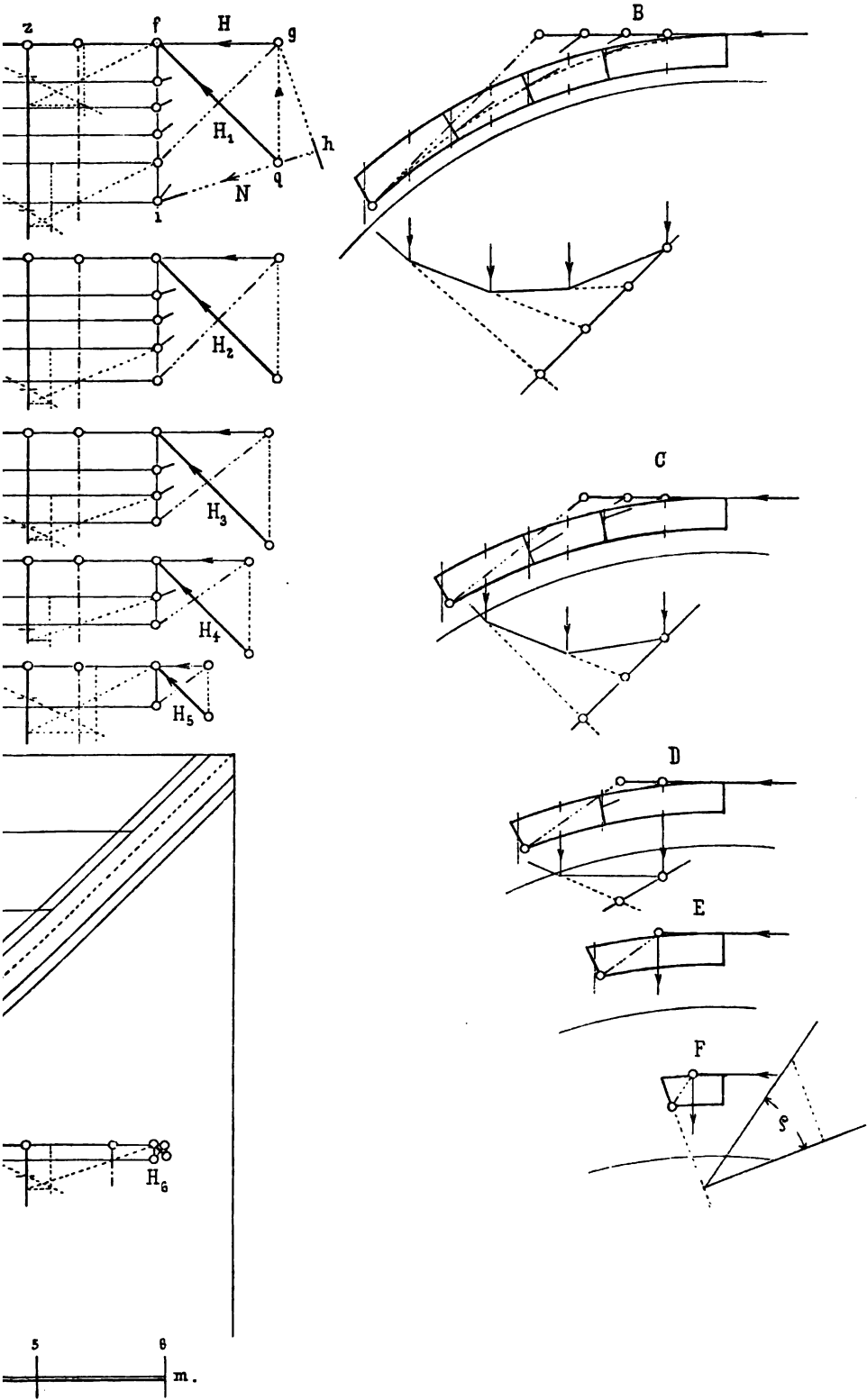
Hierzu kommt noch bei der besonderen Einwölbungsart der cylindrischen Kreuzgewölbe auf Schwalbenschwanz-Verband die Untersuchung der Stabilität der Stirnmauern des Gewölbes.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

Bei der Einwölbung der Gewölbkappen auf Kuf zerlegt man jede Kappe, einschließlic ihrer Belastung, durch lothrechte und parallel zu ihrer Stirnmauer gestellte Ebenen in einzelne schmale Elementarstreifen. Dieselben bilden kleine



Stabilitäts-Untersuchung eines cylindrischen R.



Kreuzgewölbes über quadratischem Grundrifs.

Tonnengewölbe, die ihr Widerlager an den Gratabogen finden, welche die Kappen von einander scheiden. Die statische Untersuchung jedes einzelnen Elementarstreifens kann also ganz in derselben Weise, wie beim Tonnengewölbe in Art. 136 (S. 181) gezeigt wurde, erfolgen.

Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband zerlegt man jede derselben, einschliesslich ihrer Belastung, in Elementarstreifen, welche durch lothrechte und rechtwinkelig zum Grat gestellte Ebenen begrenzt sind und sich auf der Scheitellinie jeder Kappe an einander lehnen. Jeder Elementarstreifen ist alsdann im Allgemeinen ein schmales einhöftiges Gewölbe, dessen Stabilität nach dem in Art. 146 (S. 208) Gefagten geprüft werden kann.

Die besondere Untersuchung der Gewölbkappen soll nach diesen allgemeinen Grundlagen an einzelnen Beispielen gezeigt werden.

Beispiel 1. Der Grundriss eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung (siehe die neben stehende Tafel) sei ein Quadrat von 8 m Seitenlänge. Die Stirnbogen sind für alle vier Seiten Halbkreise mit dem Halbmesser ma . Die Stechungshöhe des Gewölbes ist sb . Die Einwölbung erfolge mit Backsteinmaterial vom Eigengewicht 1,8 auf Kufverband. Die Breite der selbständig aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 ausgeführten Gratabogen ds sei zu 0,40 m gewählt. Von einer besonderen fremden Belastung des Gewölbes ist Abstand genommen. Ist solche vorhanden, so wird das Wesen der Untersuchung an sich nicht geändert. Die Elementarstreifen $A, B \dots F$ der einzelnen Kappen mögen eine sonst beliebig genommene Breite besitzen; hier ist denselben eine gleiche Breite ce gegeben.

Um von vornherein die für die einzelnen Elementarstreifen bei den auf graphischem Wege zu bestimmenden Gewichtstrecken noch durch genau und deutlich darzustellende Linien zu erhalten, selbst wenn die Breiten dieser Streifen von einander abweichen oder an sich ziemlich schmal genommen sind, oder wenn selbst das Eigengewicht der Streifen verschieden wäre, kann ein einfaches Zusammenfügen einzelner graphischer Constructionen in Anwendung gebracht werden. Da diese Constructionen auch später bei der statischen Untersuchung von Kuppelgewölben, bzw. von Kreuzgewölben mit busigen Kappen benutzt werden, so soll hier gleich eine allgemeine Behandlung der für die vorliegenden Zwecke erforderlichen graphischen Ausmittlung der Linienwerthe für den Inhalt prismatischer Körper, bzw. der Gewichtswerthe derselben eintreten.

Ein prismatischer Körper von der Breite b Met., der Höhe h Met. und der Dicke gleich 1 m besitzt den körperlichen Inhalt

$$V = b \cdot h \cdot 1 \text{ Cub.-Met.} \dots\dots\dots 226.$$

Soll dieser Werth von V dargestellt werden durch die Mafszahl einer Linie x , multiplicirt mit einer beliebig gewählten Mafszahl B (Basiszahl, bzw. Basis) einer anderen Linie, so muss

$$b \cdot h \cdot 1 = Bx, \dots\dots\dots 227.$$

oder

$$\frac{x}{h} = \frac{b}{B} \dots\dots\dots 228.$$

fein. Wie in Art. 143 (S. 197) angegeben, kann hiernach x bei gegebener Basis B in bekannter Weise construirt werden. Besitzt nun ein prismatischer Körper K (Fig. 441) eine Breite b Met., eine Höhe h Met. und eine mittlere Dicke d Met., so ist sein Inhalt

$$v = b \cdot h \cdot d \text{ Cub.-Met.} \dots\dots\dots 229.$$

Soll nunmehr dieser Werth durch die Mafszahl einer Linie w , multiplicirt mit der fest gesetzten Basiszahl B , dargestellt werden, so ist

$$v = b \cdot h \cdot d = Bw \dots\dots\dots 230.$$

zu setzen. Da aber nach Gleichung 227: $b \cdot h = \frac{Bx}{1}$ ist, so wird auch

$$\frac{Bx}{1} \cdot d = Bw, \dots\dots\dots 231.$$

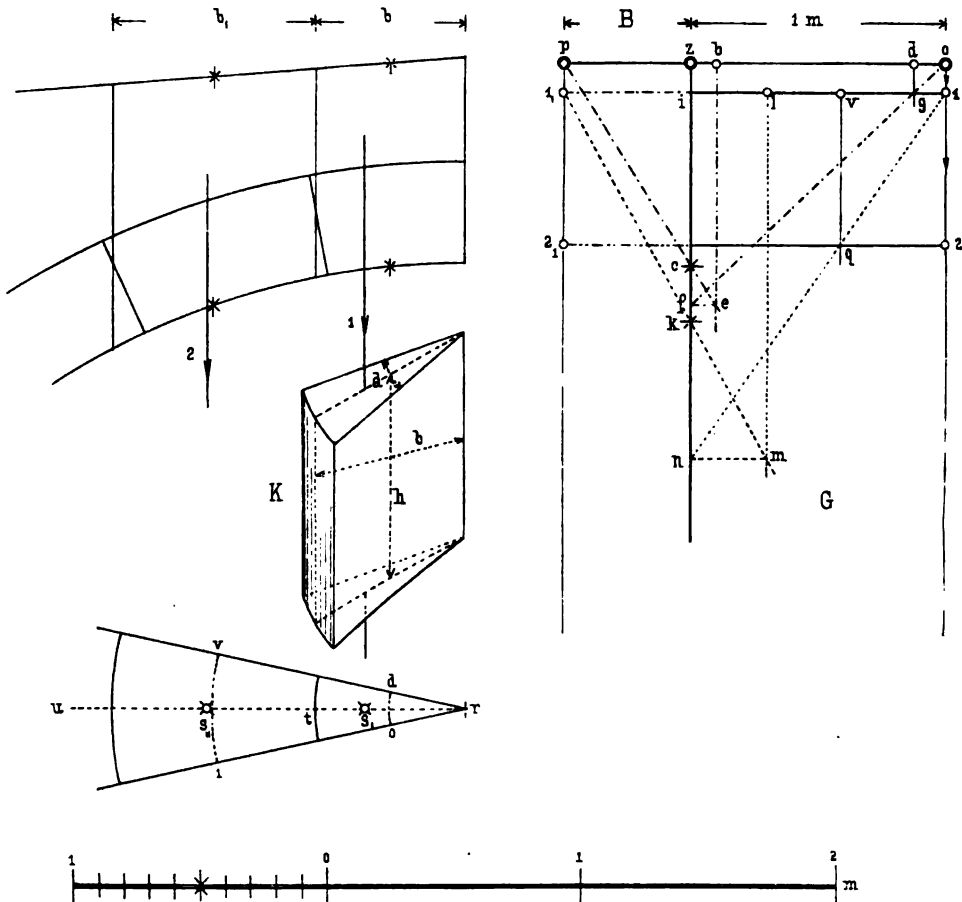
woraus

$$\frac{x}{1} = \frac{w}{d} \dots\dots\dots 232.$$

248.
Beispiel
1.

249.
Rauminhalt
prismatischer
Körper.

Fig. 441.



folgt. Sobald x gezeichnet ist, kann hiernach w gleichfalls durch Zeichnung gefunden werden. Beachtet man, daß, je kleiner die Basis B genommen wird, die Länge x und danach auch die Länge w desto größer erhalten wird, so kann in jedem Falle ein entsprechend deutlicher Plan für jene Linienwerthe angefertigt werden. Ist weiter γ Tonnen das Gewicht von 1 Cub.-Met. des betrachteten Körpers, dessen Inhalt durch Bw ausgedrückt wird, so ist sein Gewicht

$$G = Bw\gamma \text{ Tonnen} \dots\dots\dots 233.$$

In der Zeichnung ist die Basis $B = pz = 0,5 \text{ m}$. Die Strecke zo ist gleich 1 m zu nehmen.

Durch p , z und o werden lothrechte Linien gezogen. Trägt man auf der Linie po die Breite $b = pb$ des Körpers ab, zieht man alsdann die Lothrechte be , schneidet man auf der z -Linie die Strecke zc gleich der Höhe h des Körpers ab und zieht man durch p und c einen Strahl, bis derselbe gehörig verlängert die durch b geführte Lothrechte in e schneidet, so ist be gleich dem Werthe x der Gleichung 228. Nimmt man nunmehr auf der z -Linie die Strecke $zf = be = x$, trägt man die mittlere Dicke d des Körpers auf der Linie po von o aus als $od = d$ ab und zieht man durch den Punkt d die Lothrechte, so erhält man nach Führung des Strahles of sofort auf dieser Lothrechten den Schnitt g und in der Strecke dg den Linienwerth w . Denn es ist

$$\frac{zf}{1} = \frac{dg}{od}, \text{ d. h. } \frac{x}{1} = \frac{w}{d},$$

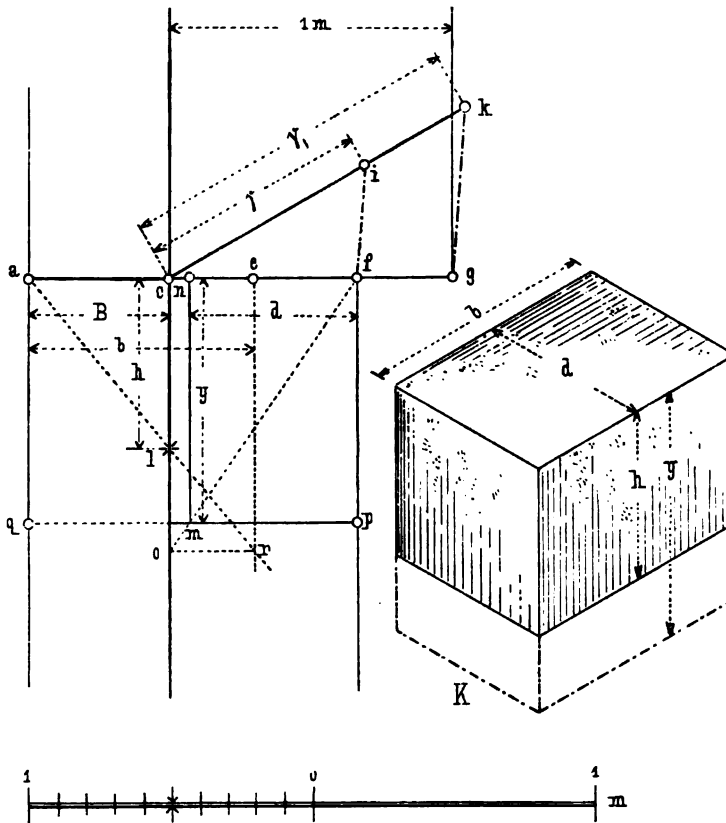
entsprechend der Gleichung 232. Zieht man durch g die Parallele rr' zu po , so ist auch $or = pr' = w$.

Fährt man unter Benutzung der Linie rr' , in gleicher Weise, wie aus der Zeichnung ersichtlich, zur Bestimmung des Linienwerthes $w = vq = r2 = r,2$, für einen zweiten Körper fort, so erhält man die Aneinanderreihung der für den Inhalt der Körper maßgebenden Strecken.

Nach der Zeichnung ist $oI = w = 0,11$ m. Da $B = 0,5$ m, so ist nach Gleichung 230 $v = 0,5 \cdot 0,11 = 0,055$ cbm. Wiegt 1 cbm 1,6 t, so ist nach Gleichung 233: $G = 0,055 \cdot 1,6 = 0,088$ t = 88 kg. Hiernach ist der Plan G auch ohne Weiteres als Gewichtsplan, bzw. als Kräfteplan zu verwerthen.

Sind die Inhalte, bzw. die Gewichte von einer Reihe nach einander zusammengefügtter Körper, welche verschiedene Eigengewichte besitzen, in einem Gewichtsplane zusammenzutragen, so sind die einzelnen Gewichtsstrecken auf ein und dasselbe Eigengewicht, welches irgend einem einzigen gewählten Körper angehört, zurückzuführen. Dann kann die Bestimmung der Gewichtsstrecken nach Fig. 442 in folgender Weise geschehen.

Fig. 442.



Der Körper K , dessen Inhalt $V = b h d$ Cub.-Met. ist, besitze ein Gewicht γ , Tonnen für 1 cbm. Alsdann ist das Gewicht desselben

$$G = b h d \gamma, \text{ Tonnen} \quad 234.$$

Ist nun das zu Grunde zu legende Gewicht, welches für alle Körper bei der Ermittlung der Gewichtsstrecken eingeführt werden soll, gleich γ Tonnen für 1 cbm, ist ferner der gefuchte Linienwerth y von einer solchen Größe, daß der Körper, welchem diese Strecke y zukommt, unter Multiplication mit der fest gesetzten Basiszahl B in seinem Inhalte v , entsprechend der Gleichung 230, durch $B y$ ausgedrückt erscheint, so ist sein Gewicht G , zu berechnen als

$$G = B y \gamma \text{ Tonnen} \quad 235.$$

Soll nun G , dieselbe Größe wie G darstellen, so muß nach den Gleichungen 234 u. 235

$$b h d \gamma = B y \gamma$$

werden. Da nach Gleichung 227: $b h = B x$ zu setzen ist, so folgt auch $B x d \gamma = B y \gamma$ oder

$$x d \gamma = y \gamma.$$

Hieraus entspringt der Ausdruck

$$\frac{x d}{y} = \frac{\gamma}{\gamma} \quad 236.$$

Setzt man $\frac{\gamma}{\gamma'} = \lambda$, d. h. auch

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{\lambda}{1}, \dots \dots \dots 237.$$

so läßt sich λ construiren.

Nachdem λ bestimmt ist, ergibt sich nach Gleichung 236: $\frac{x d}{y} = \lambda$ nunmehr der Ausdruck

$$\frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda}, \dots \dots \dots 238.$$

wonach die gefuchte Strecke y durch Zeichnung ermittelt werden kann.

In Fig. 442 ist ac gleich der Basis B und $cg = 1\text{ m}$ abgetragen. Auf der beliebig durch c gezogenen Linie ck ist nach einem sonst willkürlich genommenen Maßstabe die Strecke ck gleich der Maßzahl von γ , und ci gleich der Maßzahl von γ' abgeschnitten. Verbindet man k mit g und zieht zu kg die Parallele if , so schneidet dieselbe im Stücke cf die Länge λ ab. Denn es ist $\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{cf}{1} = \frac{\lambda}{1}$, wie nach Gleichung 237 sein muß.

Nimmt man nunmehr auf der Hauptlinie c , die durch den Endpunkt der Basisstrecke B geht, cl gleich der Höhe h des Körpers, ferner auf der Geraden ag die Strecke ae gleich der Breite b des Körpers, und zieht man durch a und l den sog. Reductionsstrahl ar , so erhält man in bekannter Weise die Länge er als den Linienwerth x . Nimmt man auf der c -Linie $co = er = x$, trägt sodann aber von f aus die Strecke fn gleich der Dicke d des Körpers auf fa ab, so schneidet ein Strahl fo die Lothrechte in n im Punkte m , und nm ist die gefuchte Linie y . Man hat der Zeichnung gemäß

$$\frac{y}{d} = \frac{co}{cf}, \text{ d. h. } \frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda},$$

entsprechend Gleichung 238. Zieht man durch m die Parallele pq zu ag , so ist auch $aq = fp = y$.

Das Gewicht des Körpers ist sofort zu bestimmen. Da $ci = \gamma = 1,6\text{ t}$ darstellt, $B = 0,8\text{ m}$ genommen ist und y nach der Zeichnung $0,88\text{ m}$ beträgt, so ist nach Gleichung 235 dieses Gewicht $G = 0,8 \cdot 0,88 \cdot 1,6\text{ t} = 0,888\text{ t} = 688\text{ kg}$.

250.
Beispiel
1,
Fortsetzung.

Nach diesen Ausführungen sind die Gewichtsstrecken der Elementarstreifen A bis F auf der Tafel bei S. 363 bestimmt. Die Austragungen der Querschnitte für die lothrechten Ebenen in der Mitte der Streifen unter Berücksichtigung der Stechung sind mit den einfachsten Mitteln der darstellenden Geometrie zu bewirken. Die Gewölbstärke ist zu einer Backsteinlänge, also gleich $0,25\text{ m}$, angenommen; die Breite der Streifen beträgt $0,8\text{ m}$. Die Basis os der Gewichtsstrecken ist zu $0,8\text{ m}$ gewählt. In hinlänglich beschriebener Weise sind die Stabilitäts-Untersuchungen dieser einzelnen Tonnengewölbstücke unter Annahme des möglichst kleinsten Gewölbschubes, wie aus der Zeichnung näher zu ersehen ist, durchgeführt.

Für den grössten Elementarstreifen A ergibt sich der für den Gewölbschub maßgebende Werth der Linie gf zu $0,98\text{ m}$. Da die Basis os $0,8\text{ m}$ beträgt, so würde sich der Gewölbschub zu $0,98 \cdot 0,8 = 0,475\text{ qm}$ ergeben. Um für die Berechnung der Gewölbstärke die Gleichungen 145 (S. 186) und 150 (S. 187), bezw. die Tabelle auf Seite 202 benutzen zu können, ist zu beachten, daß jene Gleichungen, bezw. jene Tabelle unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit (gleich 1 m) aufgestellt sind. Würde also der Streifen A statt einer Breite von $0,8\text{ m}$ eine solche von 1 m besitzen, so würde sich der Gewölbschub ergeben zu

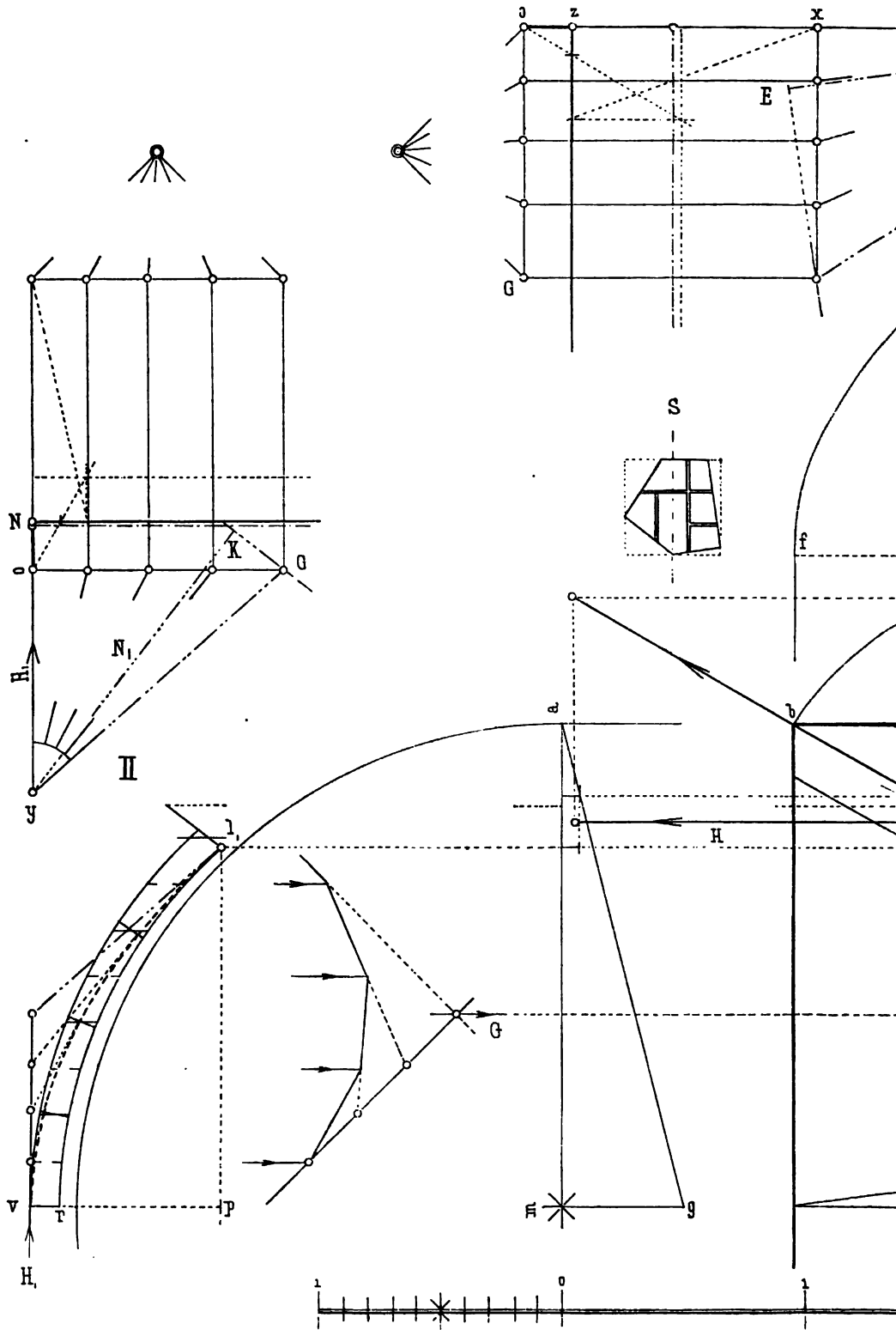
$$H = \frac{1}{0,8} \cdot 0,475 = 0,79\text{ Quadr.}, \text{ bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert dieser Gewölbschub nicht ganz eine Backsteinlänge als Gewölbstärke.

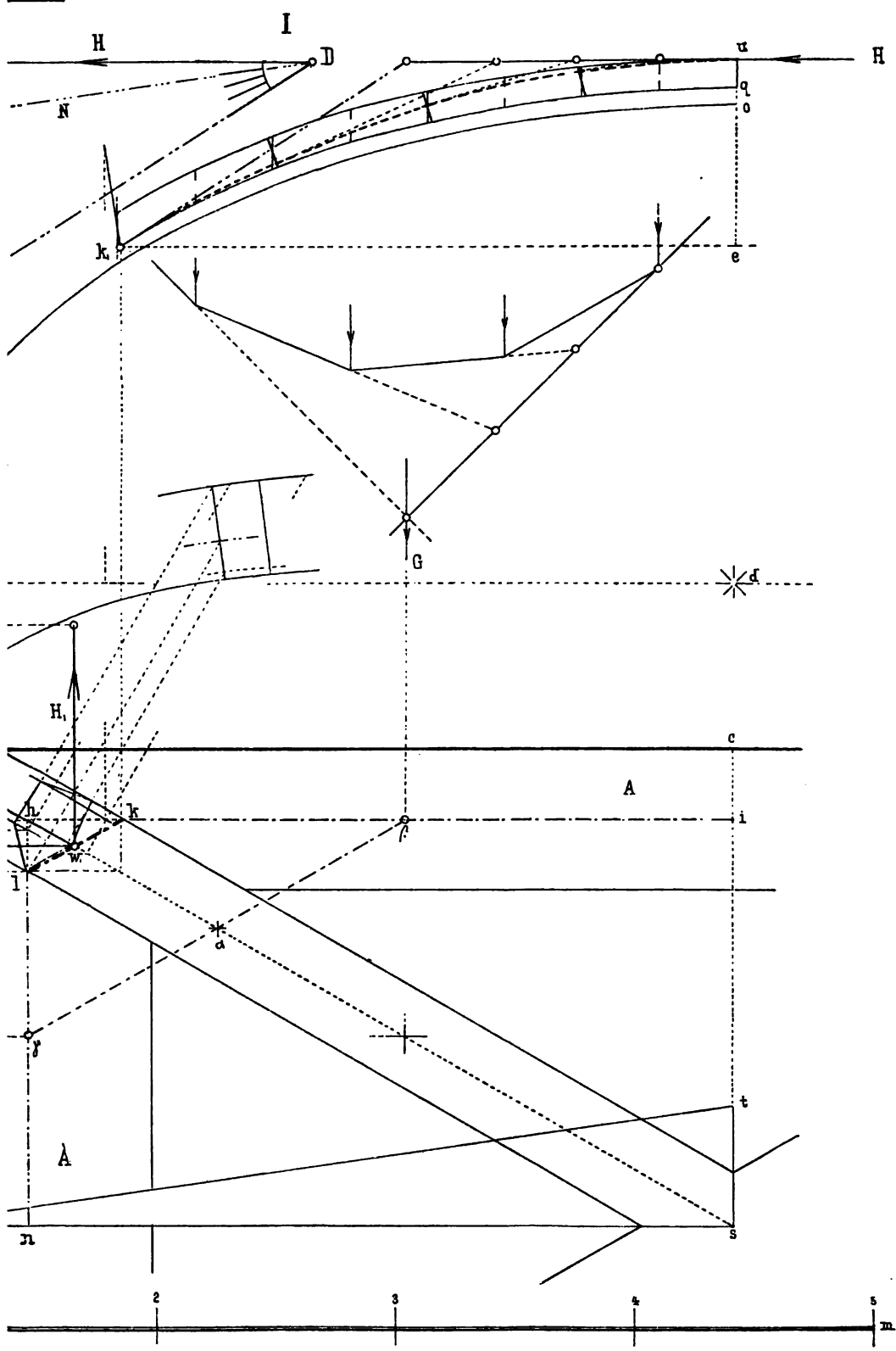
In gleicher Art findet man den Normaldruck des Streifens A für die Widerlagsfuge unter Verwerthung der Linie $hi = 1,4\text{ m}$ zu

$$N = \frac{1}{0,8} \cdot 1,4 \cdot 0,8 = 1,16\text{ Quadr.}, \text{ bezw. Cub.-Met.}$$

Auch für diese Zahl giebt die Tabelle auf Seite 202 keine über $0,25\text{ m}$ gehende Gewölbstärke. Die für die Kappen angenommene Gewölbstärke ist also ausreichend. Da alle übrigen Gewölbstreifen kleineren Gewölbschüben unterliegen, die Prüfung der sämtlichen Streifen den Gleichgewichtszustand gegen Drehen und gegen Gleiten (Reibungswinkel ρ bei F) bekundet, so können die Gewölbkappen als stabil gelten. Der Einfluß, welcher von den Gewölbstreifen durch ihre Gewichte und ihre Gewölbschübe auf den Grat aus-



Stabilitäts-Untersuchung eines cylindrischen



Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundrifs.

getbt wird, ist ohne Weiteres für den Streifen A bei m zu erkennen. Gegen den Grat treten die beiden hier gleichen Streifen A mit einem Gewölbschube gi des Gewichtplanes A . Die Angriffspunkte k und l derselben liegen am Grat in einer wagrechten Linie kl . Zerlegt man die in k und l angreifenden Gewölbschübe gi in ihren lothrechten Kräfteebenen je in eine wagrechte Seitenkraft $H = gf = gg$ und in eine lothrechte Seitenkraft $fi = op$, so lassen sich zunächst H und H zu einer wagrechten Mittelkraft H , zusammensetzen, welche nunmehr in der lothrechten Mittelebene ds des Gratabogens liegt und deren Angriffspunkt nach m in der wagrechten Linie kl zu legen ist. Dieses Zusammensetzen der Kräfte H ist im Gewichtplane durch das Kräftedreieck ggf vorgenommen. Sodann lassen sich auch die lothrechten in k und l wirkenden Kräfte op zu einer einzigen Mittelkraft G , hier gleich $2op$, zusammensetzen, deren Richtung gleichfalls durch m geht, so daß nunmehr der Gratabogen außer seinem Eigengewichte vor allen Dingen im Punkte m , dessen Lage in jedem Falle leicht ermittelt werden kann, vom Streifen A durch die Kräfte H , und G beansprucht wird. Auf demselben Wege sind, wie in den Kräfte- oder Gewichtsplänen der einzelnen Streifen angegeben, auch alle von den Elementarstreifen herrührenden und für den Gratabogen in Rechnung tretenden Kräfte aufzufinden. Von diesen Kräften wird bei der Bestimmung der Stärke der Gratabogen unter β Gebrauch gemacht werden.

Beispiel 2. Der Grundriß eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung (siehe die neben stehende Tafel) sei ein Rechteck von 4,0 m Breite und 6,9 m Länge. Die Stirnbogen der schmalen Seite sind Halbkreise mit dem Halbmesser ma ; diejenigen der langen Seite hingegen, da sämtliche Randbogen eine gleich große Pfeilhöhe erhalten sollen, sind Halbellipsen mit der halben großen Axe bc , bezw. fd und der halben kleinen Axe $de = ma$. Die Stechungshöhe des Gewölbes ist $mg = st = 0,5$ m. Die Einwölbung soll auf Kufverband mit Backsteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 erfolgen. Die Grate sind gleichfalls aus Backstein von $1\frac{1}{2}$ Stein Breite und $1\frac{1}{2}$ Stein Höhe mit entsprechenden Widerlagsflächen für die Gewölbkappen herzurichten.

251.
Beispiel
2.

Da es für die Bestimmung der Gewölbstärke ausreichend ist, die am weitesten gespannten Elementarstreifen von je zwei an einem Gratabogen zusammentretenden Kappen statisch zu untersuchen, so sind hier die beiden Elementarstreifen A und A_1 , welche unmittelbar an den Stirnbogen der Seiten des Rechteckes liegen, in Betracht gezogen. Die lothrechten Mittelebenen, welche zugleich Kräfteebenen der Streifen sind, stehen parallel zu den Stirnebenen. Sie schneiden sich in einer lothrechten Linie, welche die Gratlinie über bs in einem Punkte trifft, dessen wagrechte Projection k wird. Bei dieser Bestimmung der Kräfteebenen, welche durch die von einander abhängige Zerlegung der Kappen in ihre Elementarstreifen bedingt ist, entstehen bei einem rechteckigen Grundrisse stets zwei am Grat zusammenlaufende Streifen von verschiedener Breite, wobei aber das Verhältniß der Breite b des schmalen Streifens A zur Breite B des anliegenden Streifens A_1 stets durch

$$\frac{b}{B} = \frac{cs}{bc} \quad \dots \dots \dots 239.$$

ausgedrückt ist. Auch für die Weite der Elementarstreifen ergibt sich ein Zusammenhang, indem aus leicht ersichtlichen Gründen

$$\frac{ki}{ln} = \frac{bc}{cs} \quad \dots \dots \dots 240.$$

wird. Da nun außerdem vermöge der Gestaltung der Laibungsflächen der cylindrischen Kappen auch beim Vorhandensein einer Stechung die Anschlußpunkte k , bezw. l , der mittleren Wöblinien solcher Streifen A und A_1 , an der Widerlagsfläche am Grat eine gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhalten, so ist die gerade Verbindungslinie dieser Punkte, deren wagrechte Projection kl ist, auch eine wagrechte Linie. Ferner ist zu beachten, daß die Pfeilhöhen og und pr in Folge der regelrechten Ausmittelung der mittleren Wöblinie der Streifen A und A_1 , wie solche nach der grundlegenden Gestaltung (siehe Art. 241, S. 355) der Gewölbflächen zu geschehen hat, einander gleich werden. Ist nun die Stärke beider Elementarstreifen, wie bei der Ausführung der Fall, wiederum dieselbe, so ist auch $ou = pv$, d. h. die höchsten Punkte einer gedachten Scheitelfuge der symmetrisch gebildeten kleinen Tonnengewölbe, welche für die Elementarstreifen nur zur Hälfte berücksichtigt zu werden brauchen, liegen in einer wagrechten Ebene. Weiter ist zu berücksichtigen, daß, wenn F die Größe der mittleren Schnittfläche des längeren Streifens A und f diejenige der mittleren Schnittfläche des kürzeren Streifens A_1 ist, auch in Abhängigkeit von der Gestaltung des Gewölbes

$$\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs} \dots \dots \dots 241.$$

wird. Bei gleicher Stärke d der Elementarstreifen wird der Inhalt V des Körpers A von der Breite b gleich bF und der Inhalt V_1 des Körpers A_1 von der Breite B gleich Bf ; mithin ist

$$\frac{V}{V_1} = \frac{bF}{Bf},$$

d. h. unter Anwendung der Gleichungen 239 u. 241

$$\frac{V}{V_1} = \frac{cs}{bc} \cdot \frac{bc}{cs} = 1$$

oder

$$V = V_1 \dots \dots \dots 242.$$

Demnach sind bei gleichem Wölbmaterial auch die Gewichte G der beiden Gewölbstreifen A und A_1 einander gleich. Hieran würde auch nichts geändert, wenn beide Gewölbstreifen A und A_1 eine das Verhältniß $\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs}$ nicht umgestaltende fremde Belastung über dem Rücken aufzunehmen hätten. Das Gewicht G wirkt im Abstände βk vom Widerlagspunkte k , der Mittellinie des Streifens A , während das gleiche Gewicht G des Streifens A_1 im Abstände γl vom Widerlagspunkte l , der Mittellinie des Streifens A_1 , angreift. Wieder ist zu beachten, daß

$$\frac{\beta k}{\gamma l} = \frac{bc}{cs} \dots \dots \dots 243.$$

ist. Entsprechend Gleichung 135 (S. 183) ergibt sich der Gewölb Schub H des Streifens A als

$$H = G \frac{\beta k}{ou} \dots \dots \dots 244.$$

und der Gewölb Schub H_1 des Streifens A_1 als

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{pv},$$

oder da, wie vorhin angegeben, $pv = ou$ ist,

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{ou} \dots \dots \dots 245.$$

Aus den Gleichungen 244 u. 245 erhält man sofort $\frac{H}{H_1} = \frac{\beta k}{\gamma l}$, d. h. nach Gleichung 243

$$\frac{H}{H_1} = \frac{bc}{cs} \dots \dots \dots 246.$$

Die auf die Widerlagsflächen der Streifen am Gratbogen treffenden Gewölb Schubkräfte zerlegen sich für den Streifen A im Punkte k , bzw. k in die lothrechte Seitenkraft G und in die wagrechte Kraft H , eben so für den Streifen A_1 im Punkte l , bzw. l in eine lothrechte Seitenkraft ebenfalls gleich G und in die wagrechte Kraft H_1 . Die aus G und G entspringende Mittelkraft gleich $2G$ geht durch den Halbirungspunkt w der wagrechten Geraden k_1l . Der Punkt w ist aber ein Punkt der lothrechten Gratebene bs , welche die Bogenlinie des Grates enthält. Setzt man die durch k und l , bzw. k und l gehenden wagrechten Kräfte H und H_1 im Verfolg ihrer Lage in k zu einer Mittelkraft zusammen, so fällt vermöge der Beziehung 246 diese Mittelkraft gleichfalls in diese Richtungsebene bs des Gratbogens. Da schliesslich k die gleiche Höhe über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes wie der Punkt w besitzt, so folgt, weil der Angriffspunkt der Mittelkraft aus H und H_1 in ihrer Richtung von k nach w verlegt werden darf, daß der Gratbogen in vortheilhafter Weise in seiner Richtungsebene bs , welche zugleich Kräfteebene des Grates sein soll, in dem ermittelten Punkte w durch die lothrechte Mittelkraft $2G$ und die wagrechte Mittelkraft aus H und H_1 , welche von den Gewölbdrücken der Elementarstreifen A und A_1 herrühren, beansprucht wird. Würde man in gleicher Weise für alle entsprechend geordneten Elementarstreifen der an einem Grat zusammentretenden Gewölbkappen die Ermittlung der Kräfte durchführen, so würde auch hieraus eine Beanspruchung des Grates in seiner Kräfteebene bs sich kennzeichnen.

Dieses für die Construction, bzw. für die Gestaltung und praktische Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe über rechteckigen Grundrissen äußerst wichtige Ergebniss, dessen Erzielung bei der Durchführung derartiger Gewölbe eigentlich zur Forderung erhoben werden muß, hat sich in einem anderen Gewande auch durch die in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 485, S. 453¹⁷⁷) dieses »Handbuches« geführten Untersuchungen herausgestellt.

¹⁷⁷) 2. Aufl.: Art. 279, S. 263.

Die auf üblichem Wege angestellte statische Untersuchung der Gewölbstreifen A und A' , unter Berücksichtigung des möglichst kleinsten Horizontal Schubes ist aus den Plänen I und II der Tafel bei S. 367 zu ersehen.

Nach der Zeichnung erhält man für die Strecke Dx im Plane I die Länge von $1,60$ m, für die Strecke yo im Plane II die Länge von $0,93$ m. Hiernach ist $\frac{Dx}{yo} = \frac{1,60}{0,93} = 1,72$.

Da nun bc als halbe Rechteckseite gleich $\frac{6,9}{2} = 3,45$ m und $cs = \frac{4}{2} = 2$ m ist, so würde $\frac{bc}{cs} = \frac{3,45}{2} = 1,725$ sein; folglich sind die gemessenen Strecken Dx und yo in recht guter Uebereinstimmung erhalten.

Die Breite des Streifens A ist zu $0,60$ m angenommen, und somit ergibt sich die Breite des Streifens A , in Uebereinstimmung mit der Zeichnung nach Gleichung 239 zu $B = 0,60 \cdot \frac{3,45}{2} = 1,035$ m. Da die Dicke der Wölbstreifen $qu = rv$ für beide Stücke dieselbe ist, so erhält man auch die Gewichtsstrecken, bezw. Flächenwerthe oder Körperinhalte in beiden Plänen I und II als oG in der Zeichnung von gleicher Grösse trotz verschiedener Breite der Lamellen der einzelnen Gewölbflächen, wie es nach der Rechnung, entsprechend Gleichung 242, sein soll. Der Horizontal Schub H ergibt sich für den Streifen A , da die Basis os zur Reducirung der Kräfte (Gewichte) gleich $0,2$ m gewählt wurde, als $H = 1,6 \cdot 0,2 = 0,32$ Quadr., bezw. Cub.-Met., während der Horizontal Schub des Streifens A' sich zu $H' = 0,93 \cdot 0,2 = 0,186$ Quadr., bezw. Cub.-Met. bestimmt.

Um die Gewölbstärke berechnen zu können, ist, wie im Beispiel 1, der Horizontal Schub der Streifen wiederum bei jedem derselben für eine Tiefe gleich der Längeneinheit, also gleich 1 m, zu ermitteln. Hiernach wird der für den Streifen A von der Breite $0,60$ m zu beachtende Gewölb Schub

$$\S = \frac{1}{0,6} \cdot 0,32 = 0,533 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

und der für den Streifen A' geltende Gewölb Schub

$$\S' = \frac{1}{1,72} \cdot 0,186 = 0,108 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert der Gewölb Schub \S des Hauptstreifens der weitesten Kappe eine Stärke, welche zwischen $\frac{1}{2}$ Stein und 1 Stein als Durchschnittswerth liegt, während für einen Hauptstreifen der schmalen Kappe, dem Gewölb Schub \S' , entsprechend, eine Gewölbstärke von $\frac{1}{2}$ Stein völlig genügt.

Für den Normaldruck \mathfrak{N} , bezogen auf die Tiefe gleich 1 m, wird für die Widerlagsfuge des Hauptstreifens der weitesten Kappe am Grat, da DE im Plan I gleich $1,74$ m, also $N = 1,74 \cdot \text{Basiszahl} = 1,74 \cdot 0,2 = 0,348$ Quadr., bezw. Cub.-Met. ist,

$$\mathfrak{N} = \frac{1}{0,6} \cdot 0,348 = 0,58 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert dieser Druck eine Gewölbstärke von nicht ganz $\frac{1}{2}$ Stein. Lässt man, da der wagrechte Schub \S dieses Streifens eine etwas grössere Gewölbstärke erfordert, als der Normaldruck \mathfrak{N} , bei sehr gutem Backsteinmaterial eine etwas stärkere Pressung hier als zulässig gelten, so kann auch die $6,9$ m weite Kappe des untersuchten Gewölbes mit $\frac{1}{2}$ Stein Stärke, wie in der Zeichnung angenommen ist, beibehalten werden.

Der Normaldruck \mathfrak{N} , der schmalen Kappe wird, da yK' im Plane II zu $1,38$ m gefunden ist, berechnet als

$$\mathfrak{N}' = \frac{1}{1,72} \cdot 1,38 \cdot 0,2 = 0,16 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Da dieser Werth nach der Tabelle auf Seite 202 keine grössere Dicke als $\frac{1}{2}$ Stein beansprucht, so bleibt diese schon für \S , fest gesetzte Stärke der schmalen Kappe gültig. Der Verlauf der eingezeichneten Mittellinien des Druckes in den Plänen I und II der Tafel bei S. 367 ergibt Gleichgewichtszustand gegen Drehung und, da die resultirenden Pressungen in den einzelnen Theilfugen der Streifen mit der Senkrechten zu diesen Fugen stets Winkel einschliessen, welche kleiner bleiben als der Reibungswinkel ρ des Materials ($\text{tg } \rho \text{ etwa} = 0,7$), auch Gleichgewichtszustand gegen Gleiten. Auf den letzteren Punkt ist namentlich hinsichtlich der Widerlagsfugen am Grat zu achten, da, falls sich hier beim Auffinden der Mittellinie des Druckes ein Gleiten bekunden sollte, die Neigung der Ansatzfläche der Wölbstreifen am Grat S so weit abzuändern ist, dass alsdann kein Gleiten mehr möglich wird.

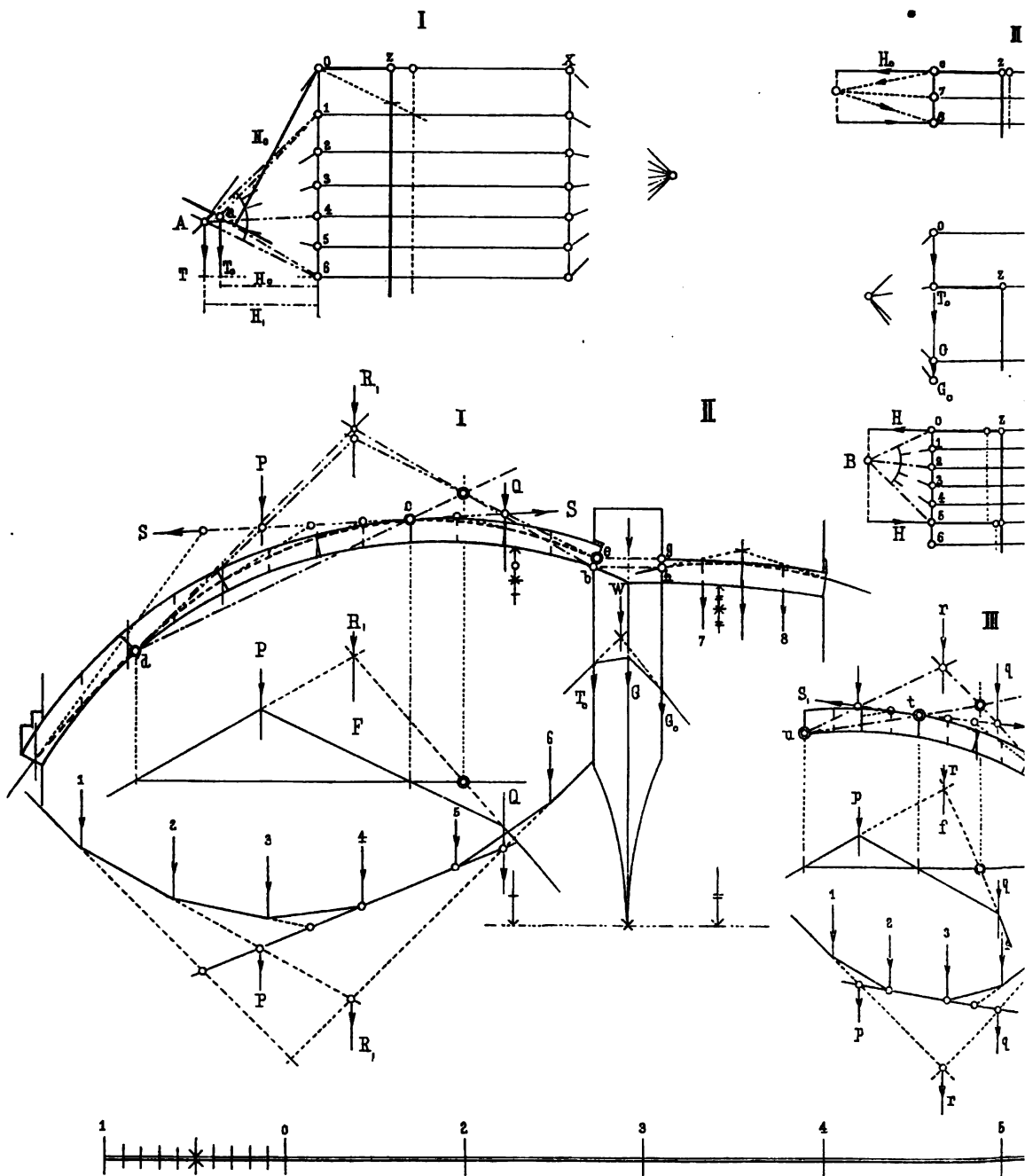
Hätte man den Hauptstreifen der weitesten Kappe 1 Stein stark ausführen wollen, während der zugehörige Hauptstreifen der antretenden schmalen Kappe nur $\frac{1}{2}$ Stein stark verbliebe, so hätte eine Uebermauerung dieses letzteren Stückes in der Art vorgenommen werden müssen, daß die Gewichte, bezw. Flächen oder Inhalte der Streifen das mehrfach erwähnte, in Gleichung 241 ausgesprochene Verhältniß beibehalten konnten. Im anderen Falle würde der Gratbogen durch die Gewölbdrücke nicht in seiner Richtungsebene bs in der oben geforderten günstigen Weise beeinflusst, sondern leicht Verschiebungen, bezw. Verdrehungen ausgesetzt werden können.

259.
Beispiel
3.

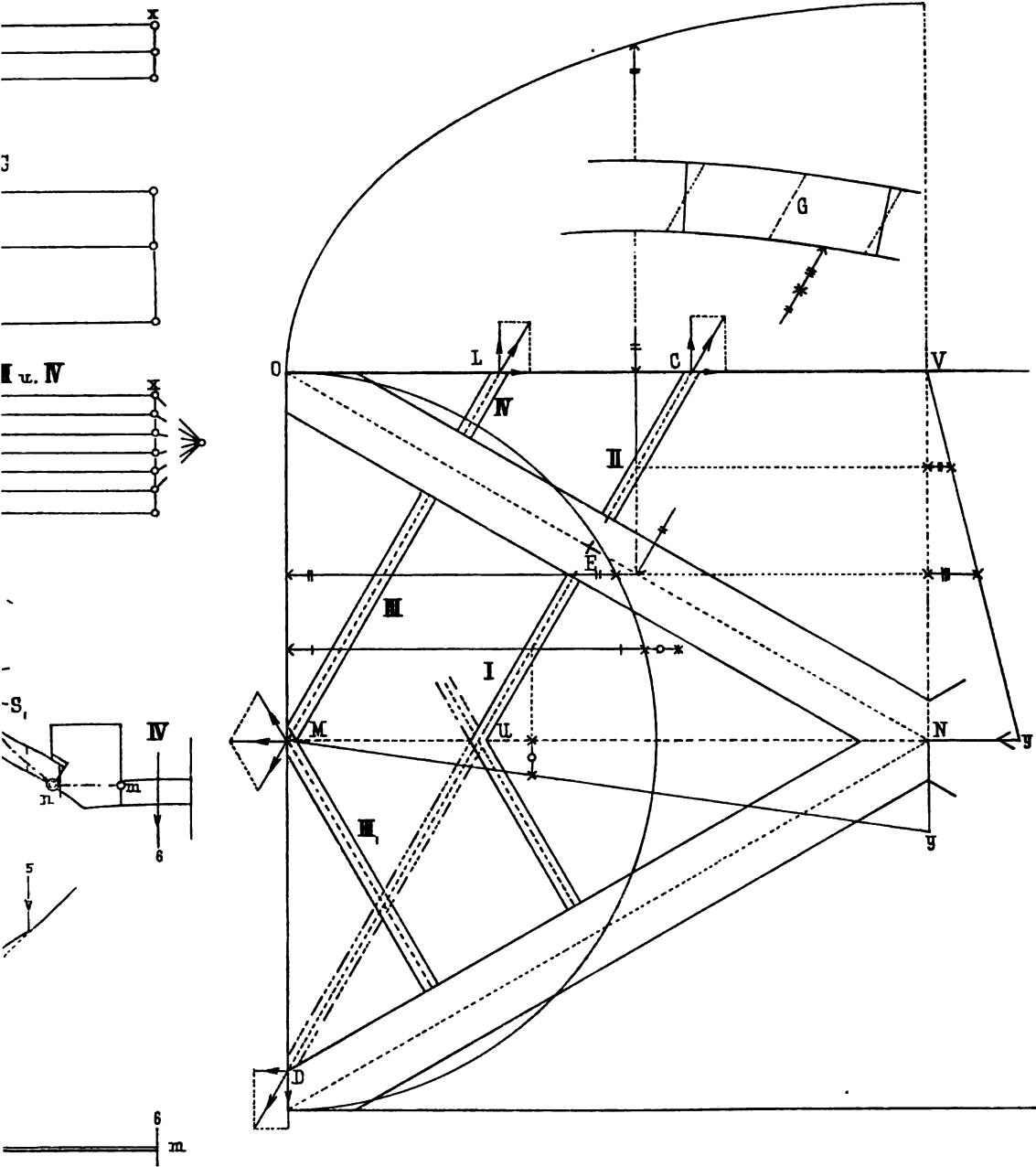
Cylindrische Kreuzgewölbe mit oder ohne Stechung werden sehr häufig auf Schwalbenschwanz-Verband eingewölbt. Hierbei sollen, wie bei der Ausführung der Kreuzgewölbe (unter 3) noch näher gezeigt werden wird, die einzelnen Wölbstreifen oder Zonenlagen in ihren Stirnflächen Normalebenen des Gratbogens angehören. Die wagrechten Projectionen der Wöblinien dieser Zonen treten als Schnittlinien jener Ebenen mit den cylindrischen Kappenflächen im Allgemeinen als elliptische Linien auf, welche in ihrem Anfangselemente an der wagrechten Projection der Gratlinie eine Tangente besitzen, deren wagrechte Projection keine Senkrechte zur Grundrisslinie des Gratbogens ist. Außerdem treffen sich, wie in Art. 181 (S. 277) bei den Kappengewölben angeführt ist, die einzelnen einander zugehörigen Streifen, sobald die Scheitellinie einer Kappe erreicht wird, in einer sog. Schnäbelung über dieser Linie. Wie die auf Schwalbenschwanz-Verband eingewölbten gewöhnlichen Kappengewölbe in den einzelnen Wölbstreifen ihren Gewölbschub sowohl auf die Widerlagsmauern als auch auf die Stirnmauern übertragen, so wird auch bei den nach diesem Verbands gewölbten cylindrischen Kreuzgewölben von den einzelnen Wölbzonen nunmehr ein Gewölbschub auf die Gratbogen und auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern des Gewölbes überführt, so daß Gratbogen und Randbogen, bezw. Stirnmauern in erster Linie als Widerlager dieser Kappen auftreten. Die statische Untersuchung, welche in einigen wesentlichen Gesichtspunkten sich der in Fig. 366 (S. 278) für ein gewöhnliches Kappengewölbe durchgeführten Behandlung anschließt, soll im Nachstehenden vorgenommen werden.

Beispiel 3. Der Grundriß eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung (siehe die neben stehende Tafel) sei wiederum ein Rechteck von $6,9$ m Länge und $4,0$ m Breite. Die Stirnbogen der kurzen Seiten sind Halbkreise vom Halbmesser $MO = MD$. Die Randbogen der langen Seiten sind Halbellipsen mit einer halben großen Axe gleich VO und einer halben kleinen Axe gleich MO . Die Stechungshöhe ist $Ny = 0,5$ m. Die Grate sind aus Backstein $1\frac{1}{2}$ Stein breit und $1\frac{1}{2}$ Stein stark selbständig auszuführen; die Kappen sind $\frac{1}{2}$ Stein stark im Schwalbenschwanz-Verband zu wölben.

Wenn gleich für die Bestimmung der Richtung der einzelnen Wölbschichten die Annahme der oben bezeichneten Normalebenen zum Gratbogen G maßgebend sein würde, so kann man doch, um die Stabilitäts-Untersuchung der Gewölbkappen nicht zu verwickelt zu gestalten, mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit annehmen, daß die einzelnen dünnen Wölbstreifen durch senkrechte Ebenen begrenzt sind, welche rechtwinkelig zur lothrechten Richtungsebene ON des Gratbogens stehen. Die einzelnen Gewölbstreifen bilden alsdann wiederum, wie beim Kappengewölbe in Fig. 366 (S. 278), einhäufige Gewölbe, welche ihr Widerlager am Grat und an den Randbogen oder Stirnmauern des Kreuzgewölbes finden. Somit tritt der Fall ein, daß sich zwei im Allgemeinen verschieden gestaltete und belastete Gewölbstücke gegen ein besonderes Gewölbe, den Gratbogen, legen, welcher für dieselben ein gemeinschaftliches Widerlager abgibt, während das andere Widerlager an einem



Stabilitäts-Untersuchung eines cylindrischen Kr



uzgewölbes mit Schwalbenschwanz-Verband.

befonderen Baukörper auftritt, mag derselbe nun geschlossen oder unter den Stirnbogen des Gewölbes offen gehalten sein. Für den Grat werden sich demnach ähnliche Beziehungen geltend machen müssen, wie bei dem in Art. 198 (S. 294) behandelten Gurtbogen zwischen Kappengewölben. Aber auch für den Gewölbschub, welcher auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern von den einzelnen Wölbstreifen übertragen wird, werden die Voraussetzungen, welche beim Kappengewölbe in Fig. 366 (S. 278) zur Sprache gebracht wurden, hier wiederum zu machen sein. Dies gilt hauptsächlich von der Fortpflanzung des Gewölbschubes der über der Scheitellinie der Kappen zusammentretenden, geschnäbelten Schichten. Hierfür eine Summirung der in der Scheitellinie durch Zerlegen der Schübe zu bildenden wagrechten Kräfte vorzunehmen, erscheint eben so unsatthaft, wie bei jenem gewöhnlichen Kappengewölbe. Denn schliesslich ist die Kappe des Kreuzgewölbes auch nur ein gewöhnliches Kappengewölbe. Dächte man sich die Widerlager, welche durch die Gratbogen als Begrenzung einer solchen Kappe gebildet werden, als stabile Bogenstellung äusserst lang fortgeführt, so gelangt man wiederum zu dem berechtigten Schlusse, dass die einfache Summirung jener der Scheitellinie zugewiesenen wagrechten Kräfte einen Schub für den Randbogen von äusserst bedenklicher Grösse liefern müsste, was in Rücksicht auf das in Art. 181 (S. 277) Gefagte als unzulässig angesehen werden darf. Aber auch schon bei Kreuzgewölben von üblichen und durchaus nicht aufsergewöhnlichen Weiten würde durch die erwähnte Summirung jener Pressungen in der Scheitellinie eine Beanspruchung der Randbogen in ihrer höchsten Stelle wach gerufen, welche für die Durchbildung derselben als selbständige oder offene, nicht etwa noch übermässig durch Uebermauerung belastete Stirn- oder Schildbogen (Gurtbogen) so nachtheilig würde, dass die Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband beim Kreuzgewölbe ohne Weiteres als vollständig verwerflich hingestellt werden müsste. Der Erfahrung nach ist jedoch die geschilderte Beanspruchung der als Gurtbogen durchgeführten Randbogen bei diesem Wölbverbande gar nicht so gewaltig, dass ihre Breite im Vergleich mit den übrigen Gewölbtheilen unverhältnissmässig gross genommen werden müsste. In Folge hiervon scheinen die mehrfach erwähnten, zu Fig. 366 (S. 278) gegebenen Erörterungen auch hier bei der Stabilitäts-Untersuchung des Kreuzgewölbes am Platze zu sein.

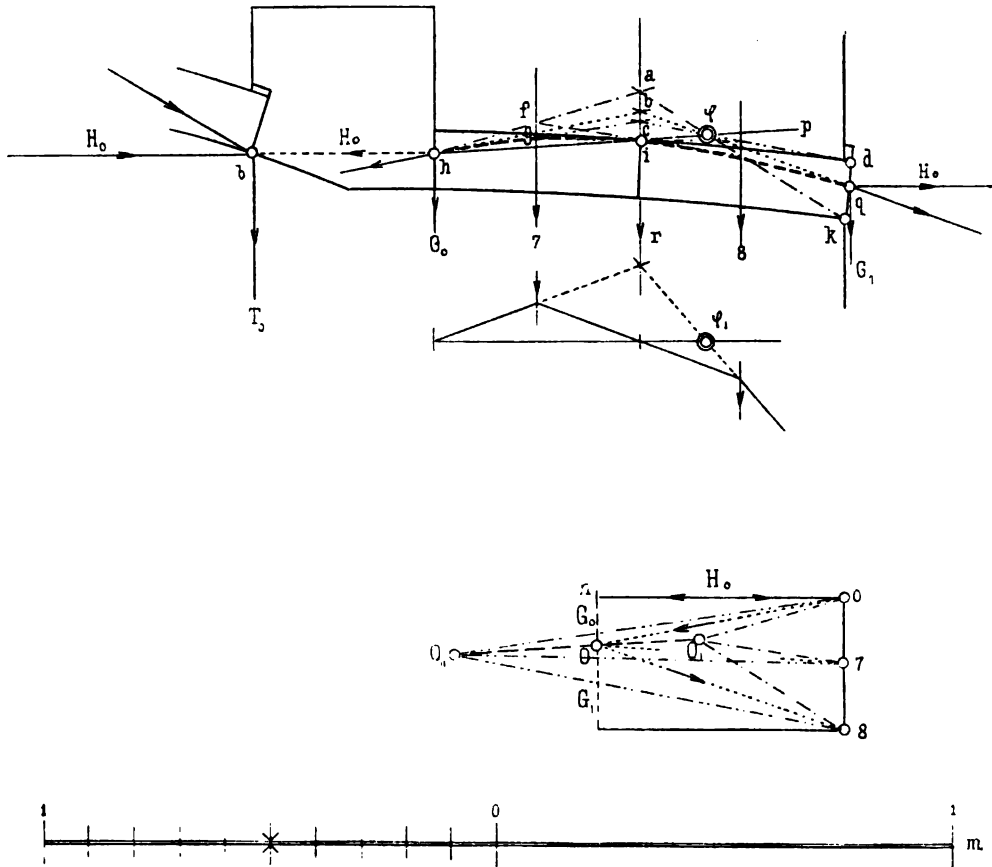
Dem gemäss ist zunächst ein von der Ecke D rechtwinkelig auf ON stehender Wölbstreifen mit einer lothrechten Mittelebene CED in Betracht gezogen. Die Wöblinie des Streifens in dieser Mittelebene nebst dem lothrechten Schnitte des Gratbogens ist im Plane I und II unter Beachtung der Stechung, wie aus der Zeichnung zu ersehen, ausgetragen. Der Streifen ED überschreitet die Scheitellinie MN der schmalen Gewölbkappe in U . Wie in Art. 181 (S. 283) angegeben, soll der Theil UD auch hier als Nebentheile des Haupttheiles EU angesehen und wiederum angenommen werden, dass diesem Nebentheile die Aufgabe zu Theil wird, den Gewölbschub des Streifens in seiner Gesamtheit von E nach D innerhalb der Gewölbkappe zu übertragen. (Vergl. den Plan II in Fig. 366, S. 278.)

Die Stärke des Gewölbstreifens ist gleich $0,12\text{ m}$. Die Breite desselben könnte beliebig gewählt werden. Da jedoch später zur Bestimmung der Gewölbstärke ein Gewölbschub für die Tiefe des Streifens gleich 1 m in Frage kommt, so soll, da in Wirklichkeit eine Zone ED nur eine Backsteindicke gleich $0,065\text{ m}$ besitzt, zunächst für die Tiefe gleich 1 m die statische Untersuchung angestellt und danach die Grösse der auf die Widerlager am Grat-, bezw. am Randbogen kommenden Gewölbschübe für die Tiefe gleich $0,065\text{ m}$ dieser Zone berechnet werden. Dem entsprechend sind die Flächen-, bezw. Gewichtswerthe für I und II so bestimmt, dass die Basis $os = 0,4\text{ m}$ gewählt und die Strecke zx in den zugehörigen Gewichtsplänen gleich 1 m beibehalten ist.

Bei den beiden sich gemeinschaftlich gegen den Gratbogen legenden einhöftigen Gewölbstücken I und II wird das grössere Stück I im Allgemeinen einen grösseren Gewölbschub auf den Gratbogen ausüben, als das kleinere Stück II . Letzteres wird also die Rolle eines Strebe- oder Absteifungsbogens für

den Gratbogen übernehmen müssen, um schließlich einen von seinem Eigengewicht und der ihm vom größeren Stücke *I* zugefügten Preßung erzeugten Druck auf sein Widerlager am Randbogen fortzupflanzen. Die zur Prüfung des Gleichgewichtszustandes des ganzen Streifenystems erforderliche Unterfuchung wird durch diejenige des Stückes *I* eingeleitet. Eine im Sinne des in Art. 146 (S. 208) Gefagten angestellte Vorunterfuchung des einhäutigen Gewölbstückes *I* giebt eine durch die Punkte *b*, *c* und *d* gehende, hier nicht weiter eingetragene Minimal-Drucklinie, welche unterhalb *d* noch eben in der Gewölfläche verbleibt. Der Gewölbdruk in *b* ist bei dieser Drucklinie gleich *a b* des Gewichtsplanes *I*. Die lothrechte Seitenkraft dieses Druckes ist gleich T_0 und die wagrechte Seitenkraft desselben ist H_0 . Die lothrechte Kraft, bzw. das Gewicht T_0 , belastet in *b* den Gratbogen. Derselbe tritt also mit als Träger dieser Last auf. Die wagrechte Seitenkraft H_0 sucht den Gratbogen seitlich zu verschieben. Diefem Verschieben hat das

Fig. 443.



Gewölbstück *II* nebst dem Widerlager am Randbogen Widerstand zu leisten. In ihrer Richtung fortgesetzt, trifft sie die Widerlagsfläche, bzw. Widerlagsfuge des Stückes *II* am Gratbogen im Punkte *A*. Diefes Stück *II* ist vermöge seiner Gestaltung, da dasselbe im Allgemeinen nicht aus zwei symmetrischen Hälften mit symmetrischer Belastung besteht, wiederum ein einhäutiges Gewölbe. Für die statische Unterfuchung desselben sind, aufser seiner Form, das Eigengewicht und die wagrechte Seitenkraft H_0 eines in *A* wirkfamen Gewölbschubes maßgebend, welcher für den Gleichgewichtszustand eine Mittellinie des Druckes hervorgerufen muß, die innerhalb der Gewölfläche verbleibt.

Um die Lage und Gröfse, bzw. Richtung dieses in *b* thätigen Schubes zu finden, ist, dem allgemeinen Wege entsprechend, welcher bei der statischen Unterfuchung einhäutiger Gewölbe einzuschlagen ist, zunächst eine Mittellinie des Druckes (Fig. 443) ermittelt, welche durch den Punkt *A*, einen Punkt *i* der Rückenlinie, d. h. einen Bruchfugenpunkt, welcher durch eine Vorunterfuchung fest gelegt ist und durch den tiefsten Punkt *k* der Widerlagsfuge am Randbogen geht. Hierbei ist der durch *b* und *i*

geführte Strahl hp als Polaraxe mit dem in bekannter Weise zu findenden Fixpunkte φ benutzt. Die äußersten Seiten ah und ak gehören einem Seilpolygon für die Gewichte γ und δ mit der Resultierenden r an, welches durch die drei Punkte h , i und k geht. Zieht man im Gewichtspole oO , parallel zu ah und so , parallel zu ak , so wird O , Schnittpunkt, so daß man in oO , Gröfse und Richtung des Gewölbdrukkes in h und in o, δ Gröfse und Richtung des Gewölbdrukkes in k erhält. Die mit Hilfe des Poles O , zu konstruierende Mittellinie des Druckes mit den Punkten h , i und k bliebe zwar innerhalb der Gewölbfäche; die wagrechten Seitenkräfte von oO , bzw. o, δ sind aber kleiner, als die vom Stücke I einwirkende wagrechte Kraft H_0 , so daß beim Vorhandensein der Gewölbdrukke oO , und o, δ im Stücke II das letztere nicht im Stande sein würde, dem Gewölbschube des Stückes I zu widerstehen. Das Stück II muß fähig erscheinen, einen größeren Gewölbschub aufzunehmen. Nimmt man zum Festlegen eines größeren Gewölbschubes den höchsten Punkt d der Widerlagsfuge dh des Stückes II unter Beibehaltung der Punkte h und i und der Polaraxe hp zur Ermittlung einer neuen Mittellinie des Druckes an, welche nun durch die Punkte h , i und d gehen soll, so erhält man in bekannter Weise, da bei dieser Ermittlung der Fixpunkt φ seine Lage nicht ändert, die Lage der gefuchten Gewölbschübe in db und bh . Zieht man jetzt im Gewichtspole oO , parallel zu bh und so , parallel zu db , so wird O , der Pol für ein durch die Punkte h , i und d für die Gewichte γ und δ zu legendes Seilpolygon, und man erhält in oO , die Gröfse, bzw. den Sinn des Gewölbdrukkes in h und in o, δ den Gewölbdruk in d . Ob die Mittellinie des Druckes für diese Gewölbdrukke innerhalb der Gewölbfäche bleibt oder dieselbe verläßt, ist hier gleichgültig, weil der Zeichnung nach die wagrechten Seitenkräfte von oO , und o, δ schon viel größer als H_0 erscheinen. Derart große Gewölbschübe für das Stück II erfordert aber der Gleichgewichtszustand des ganzen Systems nicht, weil dieselben nur solche Gröfse besitzen sollen und auch nur nöthig haben, bis ihre wagrechten Seitenkräfte genau der Kraft H_0 entsprechen.

Diese noch unbekannten Gewölbschübe findet man unter Anwendung eines bekannten Satzes der graphischen Statik, wonach für die beiden Seilpolygone, welche in hfi und hgi in ihren ersten beiden Seiten hf , fi , bzw. hg , gi durch die festen Punkte h und i gehen, die Verbindungslinie oO , der Pole O , und O , ihrer zugehörigen und gleichen Kräftepolygone, hier die Gewichtsstrecke $o\delta$, eine Parallele zu der durch h und i gelegten Polaraxe hp sein muß. Zieht man oO , so ist dieselbe thatfächlich parallel zu hp . Trägt man die wagrechte Linie $on = H_0$ ab, so schneidet die durch n parallel zu $o\delta$ geführte Gerade die Linie oO , in O , und dieser Schnitt liefert den Pol eines dritten Seilpolygons, welches ebenfalls in seinen ersten beiden Seiten durch die Punkte h und i gehen muß, in seiner dritten Seite aber auch durch den Fixpunkt φ geht. Hiernach findet man nun ohne Weiteres in oO den gefuchten Gewölbschub in h und in $o\delta$ den Gewölbschub, welcher für das Widerlager am Randbogen des Stückes II in Frage kommt.

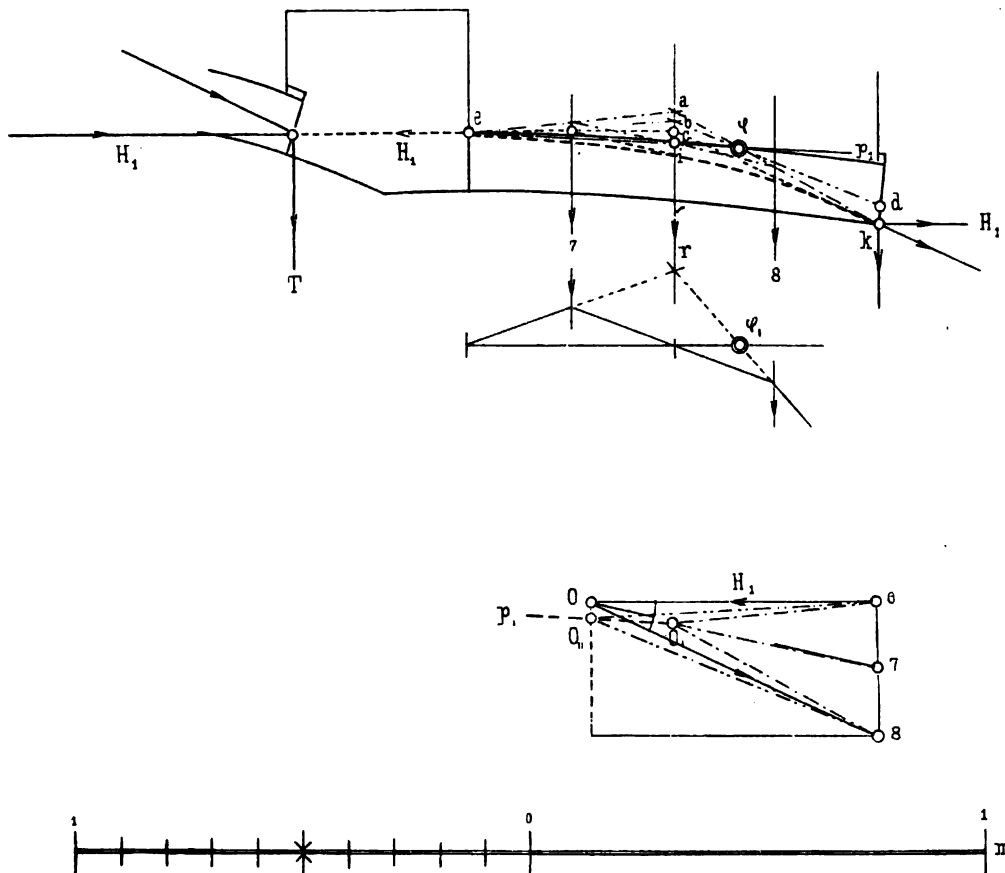
Wie leicht zu erkennen, hätte man auf Grund des erwähnten Satzes den Strahl oO , parallel der Polaraxe hp bereits ziehen können, nachdem die Polstrahlen oO , und o, δ für das durch h , i und k gehende erste Seilpolygon den Pol O , fest gelegt hatten, so daß die Zeichnung des zweiten Seilpolygons für die Punkte h , i und d , bzw. die zugehörigen Polstrahlen oO , und o, δ erspart werden konnte.

Zeichnet man unter Benutzung des Poles O eine Mittellinie des Druckes hig , so ergibt sich, daß dieselbe vollständig innerhalb der Gewölbfäche des Stückes II verbleibt und daß auch eine Gefahr hinsichtlich des Gleitens beim Verlaufe dieser Drucklinie nicht gekennzeichnet wird. Da nun in der Richtung von b nach h und umgekehrt von h nach b gleich große wagrechte Kräfte H_0 auftreten, welche wohl den Gratbogen in h und b pressen, aber nicht drehen können, so ist das System der Wölbstreifen im Gleichgewicht, vorausgesetzt, daß auch der Gratbogen für sich dem Gleichgewichtszustande entsprechend hergestellt ist.

Sollte bei der statischen Untersuchung des größeren Gewölbstückes I , wie zuweilen der Fall, sich eine Mittellinie des Druckes ergeben haben, welche nach der Tafel bei S. 370 mit einem Gewölbschube in e übereinstimmt, dessen wagrechte Seitenkraft die Gröfse H , besitzt und, durch die Punkte e , c und d gehend, in e einen Punkt im Widerlager am Gratbogen enthält, welcher in einer Wagrechten ge liegt, die durch den höchsten Punkt g der Widerlagsfuge des Stückes II im Querschnitte des Grates geführt werden kann, so sind offenbar g und e , wie auch b und h , Grenzpunkte für die Lage der Angriffspunkte von Gewölbschüben, deren wagrechte Seitenkräfte von gleicher Gröfse in einer solchen wagrechten Linie in einander entgegengesetzter Richtung wirken und somit für sich eine seitliche Ausweichung oder eine Drehung des Gratbogens nicht hervorrufen können. Sind diese Grenzpunkte e und g einmal in Betracht zu ziehen, so kann nach Fig. 444 die statische Untersuchung des Gewölbstückes II nach demselben Verfahren, wie bei Fig. 443 beschrieben, vorgenommen werden. Hat man auch hierbei zunächst die neue Polaraxe ep , durch einen angenommenen Bruchfugpunkt e geführt, so ergibt sich meistens schon bei der Zeichnung eines ersten Seilpolygons

mit den äußersten Strahlen ea und ak die Erkenntnis, daß die mit diesem Seilpolygon in Abhängigkeit stehende Mittellinie des Druckes eine Bruchfuge anzeigt, welche nicht nach c , sondern oft und so auch hier äußerst nahe an den Punkt e fällt, so daß die im vorliegenden Plane schon fast wagrechte Polaraxe ep , und eben so der fast wagrechte äußerste Strahl eb eines zweiten Seilpolygons ebd , welchem als Gewölbschub in e die vorgeschriebene wagrechte Seitenkraft H , zukommt, sich überhaupt der wagrechten Richtung sehr stark nähern. Alsdann kann man mit hinreichender Genauigkeit die Mittellinie des Druckes unter Benutzung eines in e ausschließlich wagrecht liegenden Gewölbschubes $H, = Ob$ zeichnen und prüfen, ob dieselbe dem geforderten Gleichgewichtszustande entspricht. In Fig. 444 erfüllt dieselbe als ek diese Forderung. Wäre folches nicht der Fall, so muß die Gestaltung der Wölbfstreifen durch Abänderung der Stechungshöhe, bezw. der Stärke der Wölbfstreifen oder der Belastung derselben einer neuen Anordnung unterzogen werden.

Fig. 444.



Genau so, wie die auf der Tafel bei S. 370 in der Richtung CD genommenen Wölbfstreifen I und II untersucht sind, werden auch alle übrigen Gewölbfstreifen auf ihre Stabilität geprüft. In der Zeichnung ist noch der Streifen III näher berücksichtigt und das Erforderliche sofort zu erkennen. Für den Streifen IV treten ähnliche Beziehungen auf, wie solche für den Streifen II sich geltend machten.

Für die Berechnung der Gewölbfstärke wird selbstredend derjenige Elementarstreifen benutzt, dessen Gewölbschub die größte wagrechte Seitenkraft liefert. Auf der Tafel ist der Streifen I als solcher anzusehen. Für denselben ist $H_0 = 0,53$ m gefunden. Da die Basis $os = 0,4$ m gewählt, die Tiefe des Gewölbfstreifens für die statische Untersuchung gleich 1 m angenommen war, so ergibt sich der für die Gewölbfstärke maßgebende Werth zu

$$H_0 = 0,53 \cdot 0,4 = 0,212 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 ist für $H = 0,2$ eine Gewölbfstärke von $\frac{1}{2}$ Stein gleich $0,12$ cm erforder-

lich. Diese Stärke kann nun auch für $H_0 = 0,212$ hier beibehalten werden. Der Normaldruck für die Widerlagsfuge am Randbogen bei D ergibt sich, da N_0 nach dem Gewichtsplane I gleich 1 m ist, als

$$N_0 = 1 \cdot 0,4 = 0,4 \text{ Quadr.-, bzw. Cub.-Met.}$$

Für diesen Werth reicht also nach jener Tabelle die Gewölbstärke von $\frac{1}{2}$ Stein ebenfalls aus.

Um die Kräfte zu bestimmen, welche bei den auf Schwalbenschwanz-Verband eingewölbten Kreuzgewölben auf die Randbogen, bzw. Stirnmauern kommen, hat man wie bei den gewöhnlichen Kappengewölben nach den Angaben zu Fig. 366 (S. 278) zu verfahren. Hier wäre z. B. die wagrechte Seitenkraft der bei M zusammentretenden Wölbchichten III und III' , nach dem Gewichtsplane III und IV auf der Tafel für die Tiefe gleich 1 m dieser Streifen, da H zu $0,85\text{ m}$ gemessen ist,

$$H = 0,85 \cdot 0,4 \cdot 1 = 0,34 \text{ cbm.}$$

Da 1 cbm Backsteinwölbung 1600 kg wiegt, so ist $H = 324\text{ kg}$. Der Elementarstreifen III ist aber nur $0,065\text{ m}$ (Backsteindicke) breit; mithin kommt für denselben ein wagrechter Schub von $324 \cdot 0,065 = 21\text{ kg}$ in Rechnung. Derselbe Schub wird vom Streifen III' , nach M gebracht. Beide setzen sich, wie in der Zeichnung angegeben, zu einer wagrechten Mittelkraft zusammen, deren GröÙe im vorliegenden Falle, da der Winkel $OML = 30^\circ$ Grad ist, ebenfalls 21 kg betragen würde. Bestimmt man, wie schon früher in Art. 181 (S. 277) in ausreichender Weise erörtert, die auf die Randbogen kommenden, aus den Elementarstreifen resultirenden Kräfte, ermittelt die Höhenlagen ihrer Angriffspunkte über der Kämpferebene mit Hilfe der fest gelegten Stirnlinien des Kreuzgewölbes, so kann man sich leicht ein Bild von der Beanspruchung der Randbogen derartiger, auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführter Gewölbe verschaffen, so weit solches für die Praxis erforderlich ist. Die Beanspruchungen der Gratbogen durch die lothrechten und wagrechten Seitenkräfte der Gewölbschübe der einzelnen Streifen werden unmittelbar bei den statischen Untersuchungen, wie aus den Gewichtsplänen auf der Tafel bei S. 370 zu erkennen ist, mit klar gelegt.

§) Stärke der Gratbogen.

Die Stabilitäts-Untersuchung der Gratbogen der cylindrischen Kreuzgewölbe, mögen dieselben auf Kuf- oder auf Schwalbenschwanz-Verband zu wölben sein, läßt sich immer unter Benutzung der Grundlagen ausführen, welche für die statische Untersuchung der Tonnengewölbe maßgebend waren.

Sind die von den Kappen auf die Gratbogen überführten Gewölbdrücke bekannt geworden, ist das Eigengewicht der Gratbogen, einschließend einer etwa vorhandenen Belastung durch Uebermauerung oder durch Einzellaften u. s. w., bestimmt, so läßt sich, diesen äußeren, die Gratbogen angreifenden Kräften entsprechend, ein den Gleichgewichtszustand bewirkendes System von inneren nach gerufenen Kräften ermitteln und danach die Stärke, bzw. der Querschnitt der Gratbogen fest stellen.

Bei den auf Kuf gewölbten Kappen werden die auf die Gratbogen ausgeübten Gewölbdrücke nach gehöriger Vereinigung und dann nach entsprechender Zerlegung bei regelrechter Gestaltung des Gewölbes im Allgemeinen lothrechte und wagrechte Kräfte liefern, welche, wie in Art. 248 u. 249 angeführten Beispielen 1 u. 2 gezeigt ist, in der lothrechten Richtungs- oder Kräfteebene des zugehörigen Gratbogens liegen.

Bei den auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführten Kreuzgewölben sind die wagrechten Seitenkräfte jener Gewölbdrücke, wie aus dem in Art. 252 gegebenen Beispiele 3 zu entnehmen ist, bei einer fachgemäßen Anordnung der cylindrischen Laibungsflächen für sich im Gleichgewicht, so daß für den Gratbogen alsdann nur die lothrechten Seitenkräfte seiner Gewölbdrücke in Betracht zu ziehen sind.

Für das in Art. 248 (S. 363) bezeichnete Kreuzgewölbe mit Kufverband ist in der umstehenden Tafel die Stabilitäts-Untersuchung für den aus Quadermaterial vom Eigengewichte $2,4\text{ t}$ für 1 cbm herzustellenden Gratbogen G auf graphischem Wege vorgenommen. Derselbe bildet die Hälfte eines symmetrisch gestalteten und

253.
Kreuzgewölbe
mit
Kufverband.

fymmetrifch durch lothrechte und wagrechte Kräfte beanspruchten Diagonalbogens, tritt alfo als die Hälfte eines einfachen, fchmalen Tonnengewölbes auf, deffen Gewölbfchub in einer angenommenen Scheitelfuge eine wagrechte Lage in der Kräfteebene befitzt.

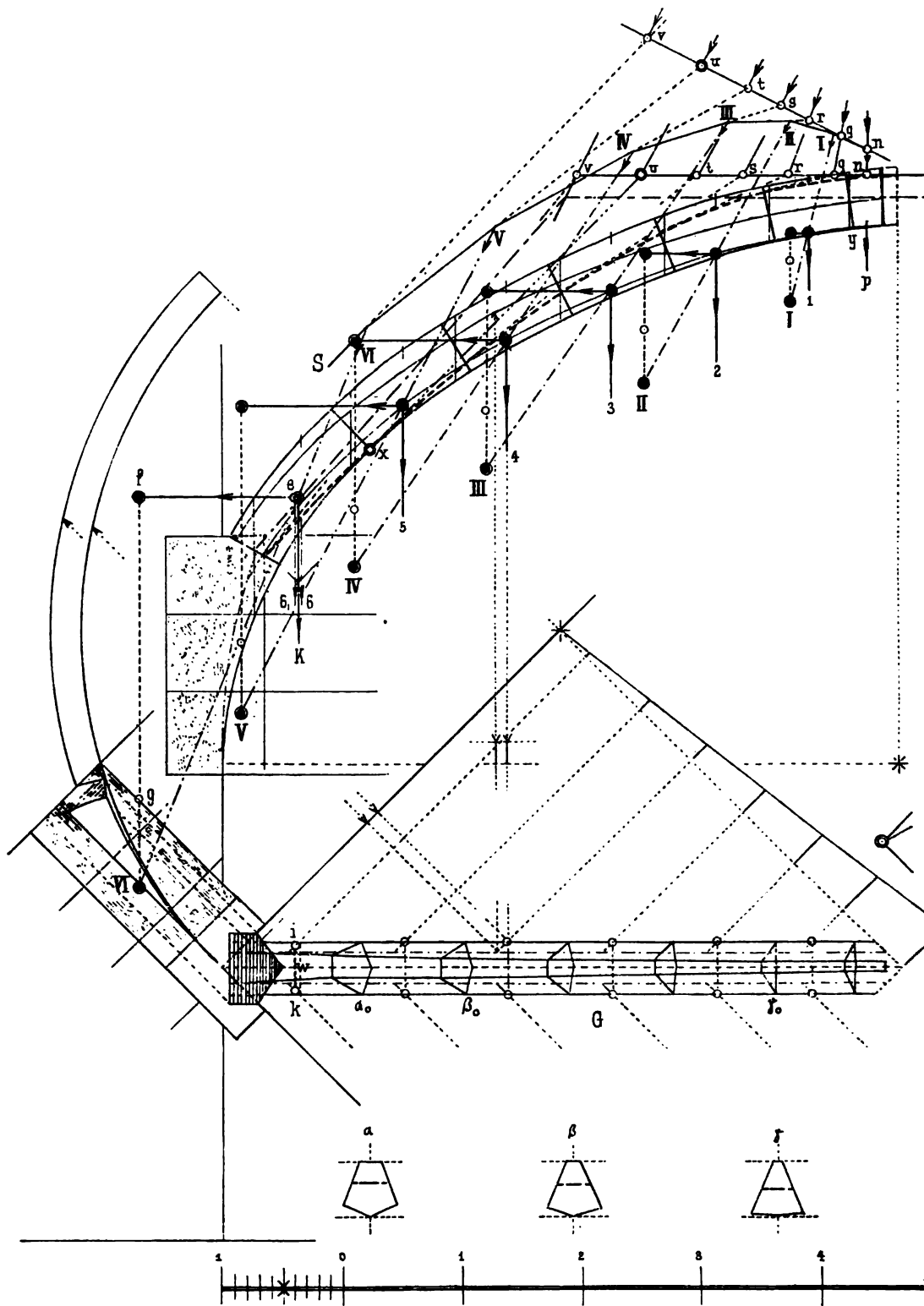
Zunächft ift nach Ausmittlung der inneren Wölblinie des Gratbogens mit Hilfe des grundlegenden Halbkreifes und der angenommenen Stechungshöhe, fo wie nach Bestimmung der Normalschnitte α, β, γ , deren wagrechte Projectionen $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ find, das Gewicht der einzelnen Theilftücke des Grates im Plane A graphifch dargeftellt.

Für die Darftellung find die Theilftreifen im Anfnuffe an die Zerlegung der am Grat zufammen-treffenden beiden Gewölbkappen in ihre Elementarftreifen entfprechend begrenzt genommen. Diefte Eintheilung in Lamellen ift aus dem Grund- und Aufrifs des Gratbogens zu erfehen. Sie beftimmt im Abftande ihrer Theillinien die Breite der Gratftücke, wonach die mittlere Höhe derfelben in bekannter Weife aus dem Aufrifs zu entnehmen ift. Die Gratbogenftücke find feitlich durch die Widerlagsflächen der Elementarftreifen der Kappen begrenzt. Die geraden Erzeugenden diefer Flächen gehören den verfchiedenen Normalebenen des Gratbogens an; fie befitzen verfchiedene Neigungen zur Wagrechten, und in Folge hiervon ift die mittlere Dicke der Gratbogenftücke gleichfalls von einander abweichend. Die Normalschnitte α, β, γ u. f. f. dienen zur Ausmeflung der einzelnen mittleren Dicken. Da endlich das Eigengewicht des Grates 2,4, das Eigengewicht des Wölbmateri als aber 1,8 beträgt, fo ift auch das Gewicht der Theilftücke des Grates auf das Eigengewicht des Wölbmateri als zurückzuführen, damit ohne Weiteres, neben Gleichartigkeit in der Behandlung der zu verwerthenden Kräfte, die fchon auf der Tafel bei S. 363 erhaltenen Gewölbdrüde der Elementarftreifen, alfo auch die für den Grat beftimmten refultirenden wagrechten und lothrechten Seitenkräfte derfelben in Benutzung zu nehmen find. Nach den Erörterungen zu Fig. 442 (S. 365) ift im Plane A die Strecke $oc = 1,8$ m, die Strecke $od = 2,4$ m aufgetragen und fonft ganz nach dem in Art. 249 (S. 363) Gegebenen, unter Beibehaltung der Bafis $os = 0,8$ m, die Ermittlung der Gewichtsstrecke ob vorgenommen. Vereinigt man nun zunächft die refultirenden lothrechten Seitenkräfte der Kappendrücke mit dem Gewichte der zugehörigen Gratftücke, fo erhält man die Mittelkraft aller am betreffenden Gratftücke lothrecht wirkenden Kräfte. So wirkt z. B. das Gewicht b , gleich der Strecke $5b$, in der Mittellinie des letzten Theilftückes; die Gewölbdrüde der zugehörigen Kappenftreifen greifen in i , bezw. k an; das refultirende Gewicht b , gleich der Strecke bb , aus beiden Drücken hat feinen Angriffspunkt in der Mitte w von ik in der Kräfteebene des Grates. Bei diefem Stücke ift, da ik nicht mit der mittleren lothrechten Theillinie deffelben zufammenfällt, die Mittelkraft K , gleich der Strecke $5b'$, ihrer Lage nach noch näher beftimmt, was bei den übrigen Theilftücken hier nicht nöthig wird.

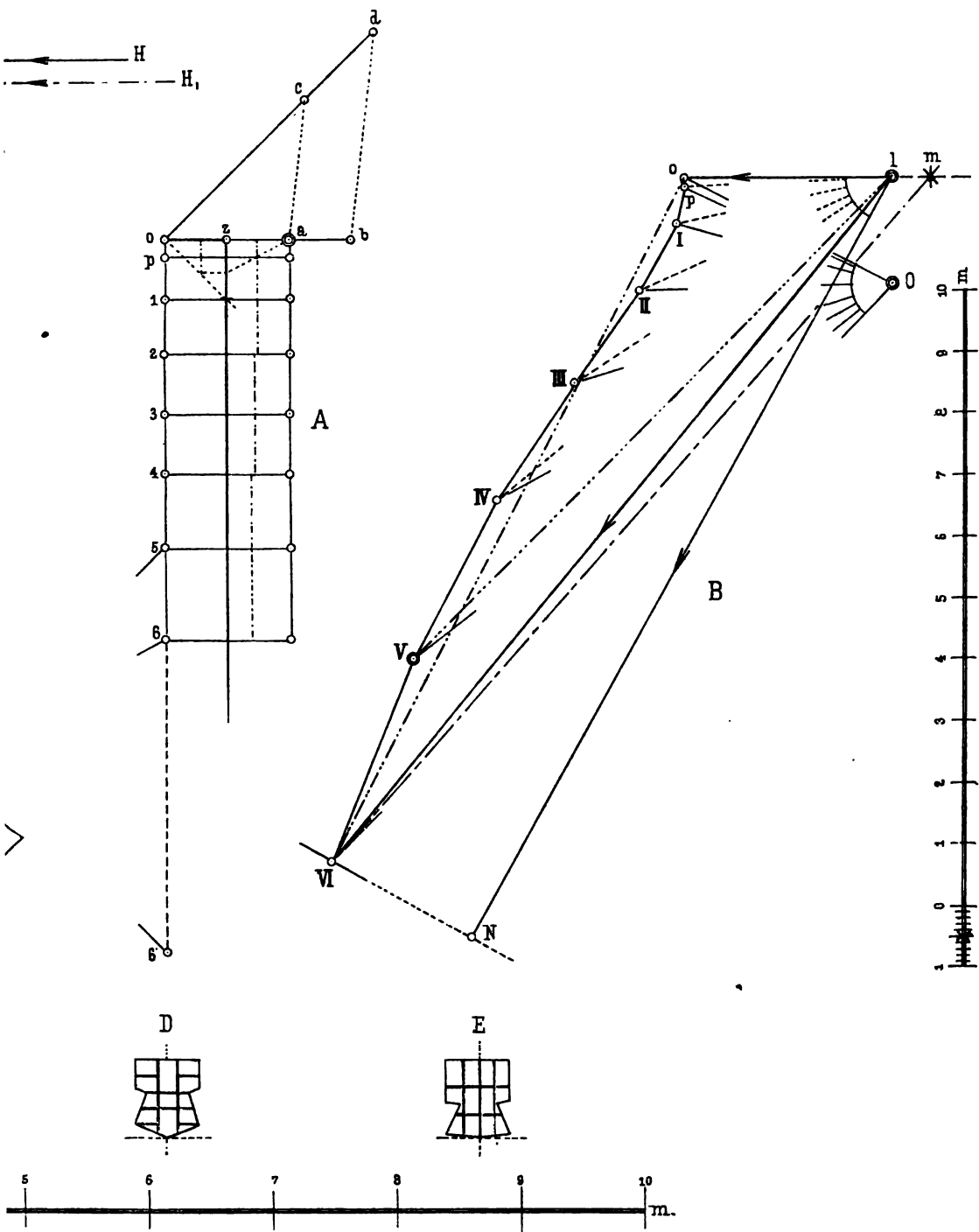
Setzt man diefe lothrechten Mittelkräfte eines jeden Stückes mit den refultirenden wagrechten Seitenkräften der Gewölbdrüde, welche aus den zugehörigen Elementarftreifen der Kappen entfpringen, zufammen, was leicht möglich ift, da auch diefe wagrechten Kräfte in der Kräfteebene des Grates liegen, außerdem bei der ftatifchen Unterfuchung jener Elementarftreifen vollftändig nach Lage, Größe und Sinn bekannt geworden find (vergl. die Tafel bei S. 363), fo erhält man nunmehr für jedes Gratstück die für die Stabilitäts-Unterfuchung in Rechnung zu ftellende Hauptrefultirende. So ift z. B. ef die refultirende wagrechte Kraft der Gewölbftrifen für das letzte Theilftück des Grates. Da die lothrechte Refultirende $K = 5b = fg + gVI$ gefunden, fo giebt das Kräftedreieck $efVI$ in eVI die Hauptrefultirende für diefes Stück. In gleicher Weife ift für die übrigen Theilftücke, wie in der Zeichnung deutlich hervor gehoben ift, jede zugehörige Hauptrefultirende feft gelegt.

Beim erften höchften Theilftücke des Gratbogens ift im vorliegenden Falle keine wagrechte und keine lothrechte Kraft von den Elementarftreifen vorhanden, fo dafs nur eine lothrechte Kraft p gleich der Strecke op als Gewicht diefes Gratstückes im Schwerpunkte deffelben wirkend auftritt.

Trägt man die gefundenen Hauptrefultirenden op, pI, III u. f. f. bis VI zu einem Kräftezuge oVI , wie hier im Plane B , jedoch unter Benutzung eines kleineren, fonft beliebig gewählten Maßftabes gefehen, zufammen, zeichnet man unter Annahme eines Poles O das Seilpolygon S für jene Kräfte, fo läßt fich genau fo, wie für lothrecht gerichtete Kräfte, eine Mittellinie des Druckes für den Gratbogen darftellen. In der Zeichnung ift der höchfte Punkt der Fuge y als Angriffspunkt eines etwa möglichft kleinften wagrechten Gewölbfchubes angenommen. Die mit dem gefundenen Horizontalschube H , gleich der Strecke $1o$, im Plane B gezeichnete Mittellinie des Druckes zeigt im Punkte x eine Bruchfuge an, bleibt aber in ihrem Verlaufe ganz innerhalb der Kräftefläche des Gratbogens. Da auch keine Gefahr gegen Gleiten fich erkennbar macht, fo ift der gewählte Gratbogen ftandfähig. Wollte man eine Mittel-



Stabilitäts-Untersuchung des Gratbogens ein



3 cylindrischen Kreuzgewölbes mit Kufverband.

linie des Druckes eintragen, welche thunlichst durch die Mitten der Theilfugen des Grates geht, so würde dieser ein Horizontalschub H , zukommen.

Die für die Bestimmung der einzelnen Drucklinien eintretenden, durch Zeichnung zu schaffenden Gebilde sind aus der Tafel zu erflehen.

Nach Ausmessung der Kraftstrecke l_o und der für den Normaldruck der Widerlagsfuge entstehenden Kraftstrecke l_N des Planes B läßt sich bei einer gewählten Breite des Gratabogens seine Stärke (Höhe) berechnen.

Wäre der Gratabogen aus Backstein ausgeführt, so hätte man, da $l_o = 3,4$ m und die Basis nach wie vor $0,5$ m beträgt, bei einer Breite von 2 Stein gleich $0,51$ m den Gewölbschub Φ_0 , bezogen auf eine Tiefe (Breite) des Gratabogens von der Längeneinheit (1 m), sofort als

$$\Phi_0 = 3,4 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,51} = 3,33 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

Diesem Werthe entspricht nach der Tabelle auf Seite 202 eine Gewölbfstärke von 2 Stein in genügender Weise, so daß die Anordnung des Grates nach D und E in der Zeichnung erfolgen könnte. Der Normaldruck \mathfrak{N}_0 ergibt sich, da $l_N = 14$ m gefunden ist, als

$$\mathfrak{N}_0 = 14 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,51} = 13,71 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

In jener Tabelle überschreitet dieser Werth den bei einer Stärke von 2 Stein aufgeführten Normaldruck N von $11,07$ Quadr., bzw. Cub.-Met., so daß bei einem Gratabogen aus Backstein bei dem hier unterfuchten Gewölbe mit quadratischem Grundriss und 8 m Spannweite eine Verstärkung um $\frac{1}{2}$ Steinlänge vom Scheitel nach dem Widerlager angezeigt ist.

Der Gratabogen soll aber aus Quadermaterial vom Eigengewicht $2,4$ bestehen. Die durchschnittliche mittlere Breite oder die Dicke desselben, welche jetzt in Rechnung kommt, ist jedoch nach den Normalschnitten α , β , γ nur gleich $0,30$ m. Für die Berechnung der Stärke des Gratabogens sind die Linienwerthe $l_o = 3,4$ m und $l_N = 14$ m des Planes B maßgebend. Dieselben sind jedoch unter Zurückführung des Eigengewichtes $2,4$ des Quadermaterials auf $1,6$ des Wölbmaterials erhalten. Aus diesem Grunde ist die Ermittlung des wagrechten Druckes Φ , im höchsten Punkte der Scheitelfuge y und des Normaldruckes \mathfrak{N} , in der Widerlagsfuge über dem Anfänger des Grates unter Berücksichtigung des Verhältnisses von $1,6 : 2,4$ vorzunehmen. Danach erhält man, da die Basis $os = 0,5$ m unverändert bleibt, jetzt

$$\Phi = 3,4 \cdot \frac{1,6}{2,4} \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,30} = 3,77 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 14 \cdot \frac{1,6}{2,4} \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,30} = 15,55 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

Setzt man in Gleichung 142 (S. 185) statt H den Werth Φ , so ergibt sich die gefuchte Stärke des aus Quadern anzufertigenden Gratabogens als

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 3,77) 3,77} = 0,43 \text{ m,}$$

und führt man in Gleichung 148 (S. 186) für N die Größe \mathfrak{N} , ein, so erhält man

$$d = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 15,55) 15,55} = 0,50 \text{ m.}$$

Auch hiernach ist die Vornahme einer allmählichen Verstärkung des Gratabogens vom Scheitel nach dem Widerlager zweckmäßig.

In der Zeichnung war die Stärke des Gratabogens schätzungsweise zu $0,50$ m angenommen. Die Rechnung erfordert keine Vermehrung derselben, so daß die statische Unterfuchung des Grates abgeschlossen werden kann.

In gleicher Weise würde auch die Bestimmung der Gratstärke für ein Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundriss und Einwölbung auf Kuf getroffen werden können. Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband bleiben die Grundlagen für die statische Unterfuchung der Gratabogen ebenfalls bestehen. Nur ist hierbei zu beachten, daß, wie früher bereits bemerkt, von den einzelnen Gewölbstreifen der Kappen, also hier der an einem und demselben Grat liegenden Kappen-

254.
Kreuzgewölbe
mit
Schwalben-
schwanz-
Verband.

hälften, im Allgemeinen auf den Gratbogen nur lothrecht wirkende Belastungen, wie z. B. T_0 und G_0 auf der Tafel bei S. 370, übertragen werden, welche alsdann mit dem Gewichte G des zugehörigen Gratstückes unmittelbar zu einer lothrecht wirkenden Resultirenden W zusammenzusetzen sind. Durch eine leicht zu treffende Gestaltung der Querschnittsfläche des Gratbogens und der damit verbundenen Schwerpunktslage desselben ist dahin zu streben, daß die sämtlichen derartigen Resultirenden für alle Theilstücke in eine und dieselbe lothrechte Ebene innerhalb des Grates fallen, welche alsdann die Kräfteebene des Gratbogens bildet.

255.
Kreuzgewölbe
ohne
Gratbogen.

Sind bei Kreuzgewölben von geringer Weite besondere Gratbogen nicht vorhanden, so ist offenbar auch keine Stabilitäts-Untersuchung für einen Grat vorzunehmen. Wohl aber machen sich in der Ebene des Zusammenchnittes der Kappen, also in der Ebene der Gratlinie, Kräfte der Elementarstreifen der Kappen in ähnlicher Weise geltend, wie bei den Kreuzgewölben mit besonderen Gratbogen. Diese Kräfte sind bei der Bestimmung der Widerlagsstärke der Gewölbe ohne selbständigen Grat eben so in Betracht zu ziehen, wie bei den mit Gratbogen versehenen Kreuzgewölben.

γ) Stärke der Widerlager.

256.
Kreuzgewölbe
mit
Gratbogen.

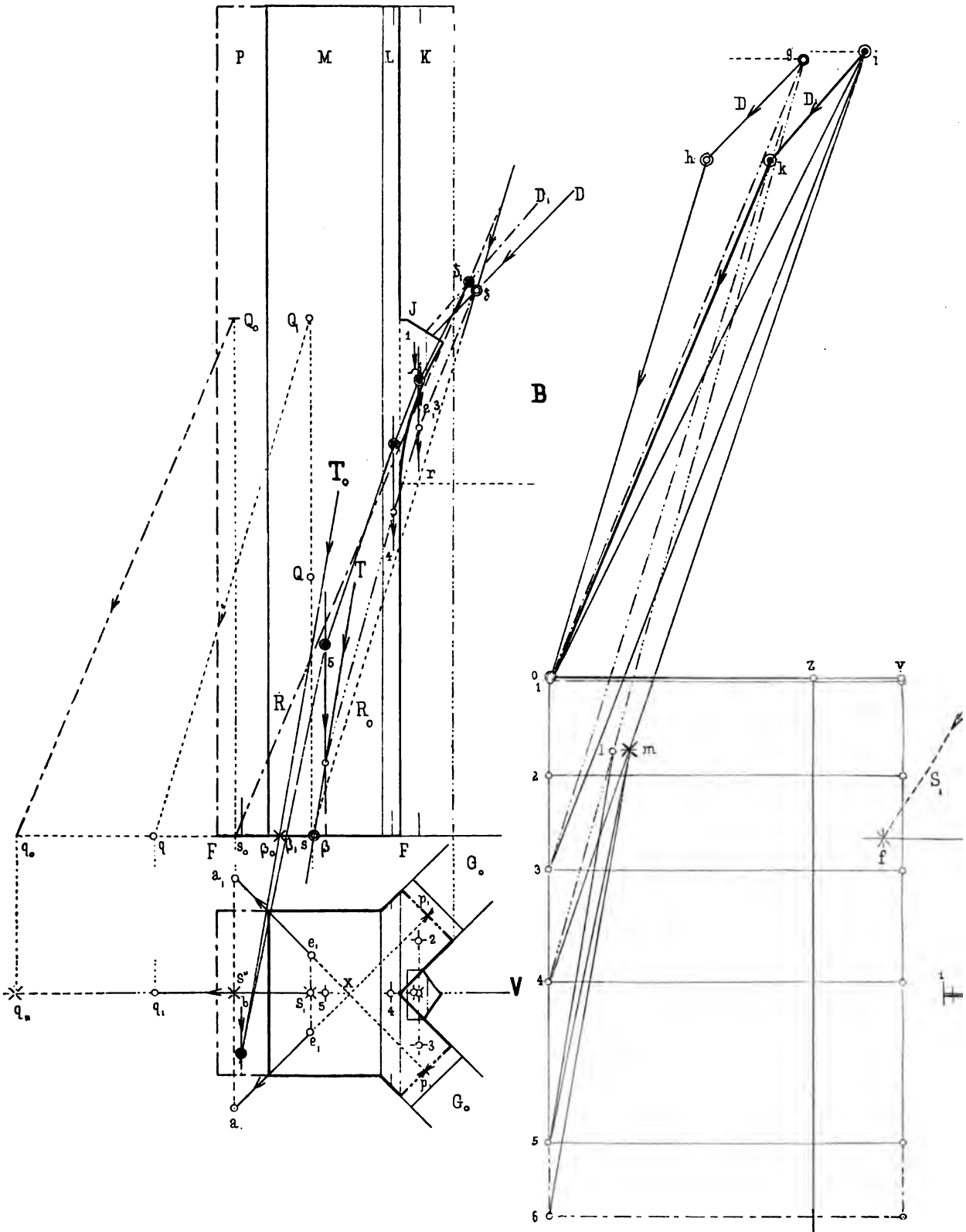
Bei den offenen Kreuzgewölben sind die Stirnmauern durch Oeffnungen frei gehalten, welche unterhalb des Randbogens der Kappen mit Gurtbogen abgeschlossen werden, deren Wöblinien den Stirnlinien des Gewölbes meistens entsprechend gekrümmt gewählt werden. Diese Gurtbogen finden mit den Kreuzgewölben selbst ein gemeinschaftliches Widerlager an den Eckpfeilern des überwölbten Raumes. Diese Eckpfeiler sind die Stützkörper des Wöblsystems. Die Stärke derselben hängt bei den offenen Kreuzgewölben also gleichzeitig von den Gewölbdrücken der ihnen zugewiesenen Gurtbogen und von den in den Gratbogen der Kreuzgewölbe wirkenden Gewölbschüben ab. Die Vereinigung dieser beiden Gruppen von Kräften mit dem Gewichte der Widerlagspfeiler bildet den Ausgangspunkt für die statische Untersuchung und Bestimmung der Stärke dieser Stützkörper. Die maßgebenden Grundlagen für solche Untersuchungen sind bereits in Art. 143 (S. 197) beim Tonnengewölbe gegeben. Die Anwendung derselben bei den Widerlagern der offenen cylindrischen Kreuzgewölbe soll auf der neben stehenden Tafel gezeigt werden. Das hier gewählte Kreuzgewölbe entspricht in seinen Abmessungen und Anordnungen der in Art. 248 (S. 363) als Beispiel 1 gegebenen Gewölbanlage. Die halbkreisförmigen Gurtbogen G_0 sammt ihrer Aufmauerung sollen aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 bestehen, wie folches auch für die Gratbogen jenes Gewölbes vorgehen war.

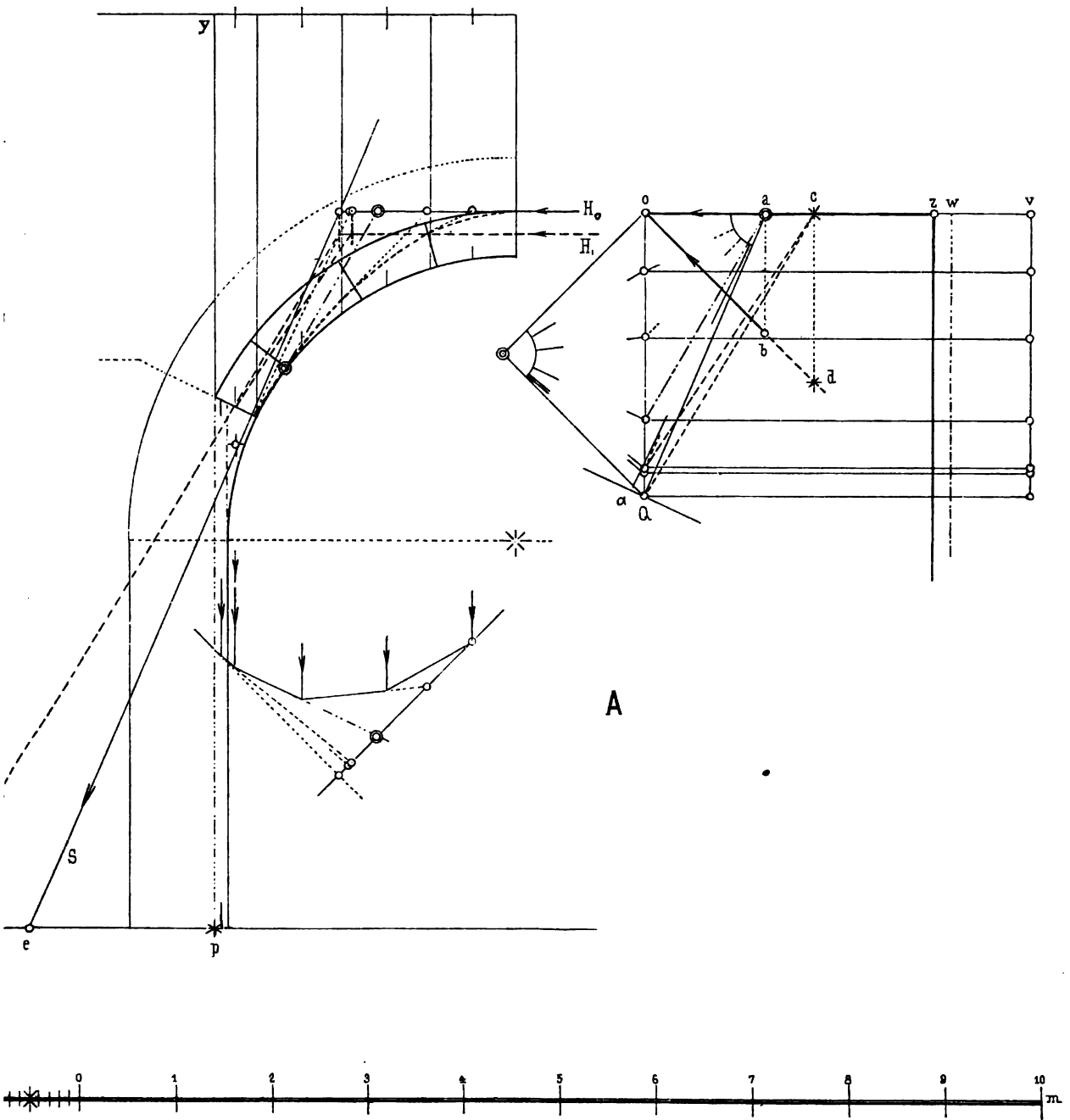
Zuerst ist im Plane A der neben stehenden Tafel, unter Einführung einer beliebig gewählten Basis $os = 3$ m, der festen Länge $zv = 1$ m und der Tiefe $vw = 0,80$ m der beiden gleichen und gleich belasteten Gurtbogen G_0 von je 6 m Spannweite, die Gewichtsstrecke oQ einer Hälfte dieser symmetrisch geformten und belasteten Tonnengewölbe bis zu der durch p geführten Lothrechten py ermittelt. Sodann ist in bekannter Weise der Horizontalschub H_0 im höchsten Punkte der Scheitelfuge, bezw. der Gewölbschub S , welcher auf die Widerlagsfuge am Anfänger des Gurtbogens kommt, bestimmt. Berechnet man die Stärke des Gratbogens, so ergibt sich, da $ao = H_0 = 1,25$ m mißt, der in Gleichung 142 (S. 185) für H einzusetzende Werth

$$H_0 = 1,25 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0,80} = \approx 4,7 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Hiernach wird

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 4,7) 4,7} = \approx 0,48 \text{ m.}$$





Stabilitäts-Untersuchung des Widerlagers für ein cylindrisches Kreuzgewölbe mit Gratabogen.

Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge ist $a\alpha = 3,2$ m bestimmend. Man erhält

$$N_0 = 3,2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0,80} = 12 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

Für N in Gleichung 148 (S. 186) diese Zahl 12 eingesetzt, giebt

$$d = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 12) 12} = 0,44 \text{ m.}$$

Der Gurtbogen ist also 0,44 m stark zu nehmen. In der Zeichnung war auf Grund einer nach Art. 138 (S. 190) geführten Voruntersuchung diese Stärke angenommen.

Der Gewölbschub S , abhängig von dem hier möglichen kleinsten Horizontalschube H_0 , nimmt einen kleinsten noch zulässigen Grenzwert an. Gehörig erweitert schneidet die Richtung von S die Grundebene pf des Stützkörpers in e im Abstände pe von der Lothrechten py . Für die Bestimmung der Widerlagsstärke ist nach Art. 142 (S. 197) aber dieser Gewölbschub besser abhängig zu machen von einem Horizontalschub H_1 , welcher im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und mit der Belastung des Gurtbogens eine Resultirende S_1 erzeugt, welche durch den Mittelpunkt der Kämpferfuge geht. Auch dieser Gewölbschub $S_1 = cQ$ für den Horizontalschub $H_1 = co$ ist auf der neben stehenden Tafel bestimmt. Derselbe trifft die Grundebene pf des Widerlagskörpers im Punkte f .

Jeder der beiden Gurtbogen G_0 liefert also als Beanspruchung des Eckpfeilers des Kreuzgewölbes diese Gewölbschube S , bzw. S_1 . Werden zunächst die beiden Gewölbschube S betrachtet, so liegen ihre Angriffspunkte in der Grundebene des Eckpfeilers nach dem Plane B der neben stehenden Tafel je für sich in den Punkten e , ihrer Kräfteebenen, und pe , ist gleich pe des Planes A . Die lothrecht durch e , gerichtete Seitenkraft des Schubes S ist gleich dem Gewichte oQ und die wagrecht in e , nach e, a , gerichtete Seitenkraft von S ist gleich $H_0 = ao$. Setzt man die beiden lothrechten und gleich großen Seitenkräfte oQ der Schube S beider Gurtbogen zu einer Mittelkraft gleich $2oQ$ zusammen, so liegt ihr Angriffspunkt im Halbirungspunkte s , der Geraden e, e , und weiter in der Richtung der lothrechten Kräfteebene V des Gratbogens des Kreuzgewölbes. Setzt man ferner die beiden wagrechten Seitenkräfte $H_0 = ao$ in x in der Grundebene des Eckpfeilers zu einer Mittelkraft zusammen, so liegt dieselbe gleichfalls in der Ebene V . Die Gröfse dieser Mittelkraft findet man einfach als bo des Kräfte-dreieckes $ba o$, worin $ba = ao = H_0$ ist. Verlegt man den Angriffspunkt x dieser Mittelkraft in ihrer Richtung nach s , und setzt man zum Schlufs $s, q, = sq = bo$ mit $sQ, = 2 \cdot oQ$ zu einer Mittelkraft Q, q im Plane B zusammen, so erhält man in dieser Mittelkraft, welche wiederum in der Kräfteebene V des Gratbogens liegt, der Gröfse und dem Sinne nach den Druck, welcher von den beiden Gurtbogen G_0 auf den Eckpfeiler des Kreuzgewölbes kommt. Dieser Druck ist in seiner Abhängigkeit vom kleinsten möglichen Horizontalschub H_0 ebenfalls am kleinsten.

Genau so ist unter Benutzung des größeren Horizontalschubes $co = H_1$ der gröfsere resultirende Druck $Q_0 q_0$ zu bestimmen. Für denselben ist $s_0 q_0 = do$ des Planes A und $s_0 Q_0$ wiederum gleich $2oQ$. Da der Angriffspunkt des Druckes Q, q in s , der Grundfläche des Eckpfeilers liegt, die lothrechte Projection dieses Punktes in s erhalten wird, so giebt der durch s parallel zu Q, q gezogene Strahl R_0 die wirkliche Lage jenes Druckes in der Kräfteebene V .

Für den größeren Druck $Q_0 q_0$ ist der Angriffspunkt $s_{,,}$ in der Grundfläche der Mittelpunkt der geraden Linie $a, a_{,,}$, wofür $pa_{,,} = pf$ des Planes A sein mufs. Die lothrechte Projection s_0 des Angriffspunktes ist ein fester Punkt für die zu $Q_0 q_0$ parallel gezogene Gerade R , welche gleichfalls die wirkliche Lage des größeren Druckes $Q_0 q_0$ in der Kräfteebene V bestimmt. In dieser Ebene herrscht nun weiter der von den Gewölbkappen auf ihren zugehörigen Grat übertragene gesammte Druck, welcher schliesslich vom Gratbogen auf den Eckpfeiler weiter geführt wird.

Nach den zur Tafel gehörigen Ermittlungen kann zunächst wieder der gefundene kleinere vom Gratbogen auftretende Druck D und sodann der gröfsere am Gratbogen bestimmte Druck D , in Betracht gezogen werden.

Nach dem Plane B auf der Tafel bei S. 376 ist D mit Hilfe der Kraftstrecke lVI , dagegen D , unter Verwerthung der Strecke mVI fest zu legen. In jener Abbildung ist $lVI = 14,4$ m und die Basis $oz = 0,5$ m, mithin die Kraftstrecke mit einer Mafszahl $14,4 \cdot 0,5 = 7,2$ behaftet. Dort waren die Gewichte auf Wölbmaterial vom Eigengewichte $1,6$ zurückgeführt.

Bei der jetzt anzustellenden Untersuchung ist jedoch Quadermaterial vom Eigengewichte $2,4$ zu berücksichtigen. Hiernach ist also die Mafszahl $7,2$ durch Multiplication mit $\frac{1,6}{2,4}$ als $7,2 \cdot \frac{1,6}{2,4} = 4,8$ für Quadermaterial zu erhalten. Da endlich in der neben stehenden Tafel die Basis zu 3 m fest gelegt war, so ergiebt sich die im Kräfteplane B einzutragende Kraftstrecke D zu $\frac{4,8}{3} = 1,6$ m gleich der Strecke gh .

Für die größere Kraftstrecke D_1 , gleich der Strecke ik , findet man die zugehörige Maßzahl, da $m VI$ im Plane B der Tafel bei S. 376 14,7 m mißt, nunmehr durch den Ausdruck

$$D_1 = 14,7 \cdot \frac{0,5}{3} \cdot \frac{1,6}{2,4} = 1,63 \text{ m.}$$

Unter Benutzung der Neigungswinkel $o l VI$, bezw. $o m VI$ zur Wagrechten und der Lage der Angriffspunkte der Drücke $l VI$, bezw. $m VI$ in der Widerlagsfuge am Anfänger des Gratbogens auf der genannten Tafel sind die Drücke D und D_1 für sich eingetragen. Aus der Zusammensetzung von $D = gh$ und $R_0 = ho$ in δ des Planes B erhält man go als kleineren Gesamtdruck für den Eckpfeiler, während durch die Zusammensetzung von $D_1 = ik$ und $R = ko$ in δ , der größere Gesamtdruck für diesen Pfeiler durch io dargestellt wird.

Nach der Ermittlung dieser Drücke kann nun die Stabilitäts-Untersuchung des Eckpfeilers, welcher hier gleichfalls aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 bestehen soll, ganz nach dem in Art. 143 (S. 197) Gegebenen unter Berücksichtigung der aus der Zeichnung zu erfahrenden Lamellentheilung und Gewichtsbestimmung derselben ohne weitere Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Für den kleineren Druck D tritt die Lamelle M als Grenzstreifen ein. Das Gewicht derselben ist zur Vermeidung einer zu langen Kräftestrecke in ein Viertel seiner wirklichen Länge als Strecke 45 dargestellt. Um dennoch die fehlerlose Richtung der Mittelkraft T aus dem Kräftezuge gh , ho , $o5$ zu erhalten, ist 14 gleichfalls ein Viertel der Länge des Strahles $g4$ zu nehmen. Der Strahl 15 , welcher für den ihm parallelen Strahl T bestimmend wird, giebt jene Mittelkraft in ein Viertel ihrer Größe an. Diese Endresultierende schneidet die Fußfläche des Eckpfeilers im umringelten Punkte β . Derselbe liegt von der Aufsenkante der Lamelle M so weit ab, daß, wenn die Grundfläche des Pfeilers hier näherungsweise als ein Rechteck angesehen wird, der Punkt β eben an der Grenze des sog. inneren Drittels dieses Rechteckes bleibt. Für den kleinsten Druck D würde also der Eckpfeiler mit den Theilstreifen K , L und M als standfähig gelten können.

Für den größeren Druck D_1 , dagegen, welcher zur Herbeiführung eines üblichen Sicherheitsgrades für die Standfähigkeit dieses Eckpfeilers als wirksam angesehen werden soll, genügt die eben ermittelte Stärke nicht mehr in dem Maße, daß eine Endresultierende 5β , parallel $m5$, innerhalb jenes inneren Drittels bleibt. Danach ist noch eine neue Lamelle P hinzuzufügen. Das Gewicht derselben ist als Strecke 56 wiederum in ein Viertel der wirklichen Länge gezeichnet, und eben so ist $m4$ gleich ein Viertel der Länge $i4$. Die Endresultierende für den Kräftezug ik , ko , $o6$ ist nunmehr das Vierfache von $m6$. Ihre Lage T_0 parallel $m6$ im Pfeiler ist leicht zu bestimmen. Diese Resultierende trifft die Fußfläche desselben im Punkte β_0 , welcher das innere Drittel des neuen Pfeilers mit den Theilstreifen K , L , M und P nicht überschreitet, so daß hiermit die Pfeilerstärke bestimmt ist. Die Breite FF beträgt 2,1 m.

Die Spannweite des Diagonalbogens ist bei dem quadratischen Grundrisse des hier untersuchten Kreuzgewölbes von 8 m Seitenlänge gleich $8\sqrt{2} = \approx 11,3$ m; folglich ergibt sich das Verhältniß der Widerlagsstärke zu dieser Weite des ganzen Gratbogens zu $\frac{2,1}{11,3}$ als nahezu gleich $\frac{1}{5}$. Beim kleineren Drucke D ist die Widerlagsstärke gleich 1,5 m, so daß nun jenes Verhältniß in $\frac{1,5}{11,3}$, d. h. in $\frac{1}{7,5}$ umgewandelt würde.

Bei dieser Angabe einer Verhältnißzahl von Widerlagsstärke zur Spannweite eines ganzen Grat- oder Diagonalbogens muß aber, wenn dieselbe überhaupt Werth haben soll, offenbar die Tiefe des Widerlagers mit beachtet werden. Dieselbe richtet sich, wie aus dem Grundrisse des Eckpfeilers zu ersehen ist, theilweise nach der Tiefe der Gurtbogen G_0 . Im Allgemeinen sollte die Tiefe der Eckpfeiler nicht unter $\frac{2}{3}$ der in der Richtung V der Gratlinie angetragenen Stärke herabfinken.

Die Stabilitäts-Untersuchung der Eckpfeiler für Kreuzgewölbe mit selbständigen Gratbogen und rechteckigem Grundriss ist auf dem eben beschriebenen Wege gleichfalls auszuführen. Bei Kreuzgewölben ohne besondere Gratbogen ist bei der Bestimmung der Widerlagsstärke das in Art. 255 (S. 378) Gefagte ohne Weiteres zu verwerthen. Hierbei fällt ein sonst vom Gratbogen herrührendes Eigengewicht einfach fort. Drücke, wie D , bezw. D_1 , resultiren allein aus den Gewölbdrücken der in der Gratlinie zusammengefügtten Elementarstreifen der Kappen. Das Wesen in der

statischen Untersuchung der Eckpfeiler für derartige Gewölbe wird dadurch nicht geändert.

Treten gegen einen Zwischenpfeiler in vollständig symmetrischer Anordnung und Belastung vier Gurtbogen und vier Gratabogen symmetrisch liegender Kappen einer Kreuzgewölbe-Anlage, so werden alle wagrechten Seitenkräfte der Drücke, welche von den Gurtbogen und Gratabogen auf den Pfeiler kommen, aufgehoben. Derselbe wird dann nur durch lotrechte Kräfte beansprucht. Die statische Untersuchung derselben wird danach äußerst einfach und kann hier unterbleiben.

258.
Pfeiler
für vier
Gurtbogen.

Bei einer Beanspruchung der Eck- oder Zwischenpfeiler einer unsymmetrischen Kreuzgewölbe-Anlage ist die Stabilitäts-Untersuchung der Stützkörper schrittweise von Gurtbogen zu Gurtbogen, so wie von Gratabogen zu Gratabogen zur Ermittlung der Resultierenden der den Stützkörper angreifenden äußeren Kräfte nach den Methoden der graphischen Statik, wenn auch etwas mühevoll, doch ohne sehr erhebliche Schwierigkeiten, vorzunehmen. Die Endresultierende dieser angreifenden Kräfte im Raume, wobei sich unter Umständen ein Kräftepaar geltend machen kann, ist mit dem Gewichte des Pfeilers dann weiter zu vereinigen, um Aufschluss über die Standfähigkeit des Stützkörpers zu erhalten. Durch Uebermauerung der Gewölbzwinkel, bezw. der Stützkörper muß dahin gestrebt werden, ein etwa sich zeigendes Kräftepaar in seiner Wirkung wieder aufzuheben.

2) Empirische Regeln für die Gewölbstärke.

Sollte bei größeren Kreuzgewölbe-Anlagen auch stets eine gewissenhafte statische Untersuchung und danach die Berechnung der Gewölbstärke stattfinden, so hat man doch bei den in der Praxis so häufig zur Ausführung gelangten und noch vielfach angewandten cylindrischen Kreuzgewölben der Erfahrung im Allgemeinen entsprechend die folgenden Regeln für die Bestimmung der Gewölbstärke aufgestellt.

259.
Stärke
der
Kappen.

Die Stärke der Kappen der halbkreisförmigen, bezw. elliptisch-cylindrischen Kreuzgewölbe, welche außer ihrem eigenen Gewichte besondere Belastungen nicht aufzunehmen haben, kann bei der Verwendung von gutem Backsteinmaterial, einem fehlerfreien, nicht zu langsam bindenden Mörtel und unter der Voraussetzung einer sorgfältigen Ausführung bei einer Spannweite bis zu 6 m $\frac{1}{2}$ Stein, bei einer Weite bis zu 9 m $\frac{1}{2}$ Stein im Scheitel und 1 Stein am Widerlager betragen. Geht die Spannweite über 9 m hinaus, so giebt man den Kappen zweckmäßiger durchweg 1 Stein Stärke.

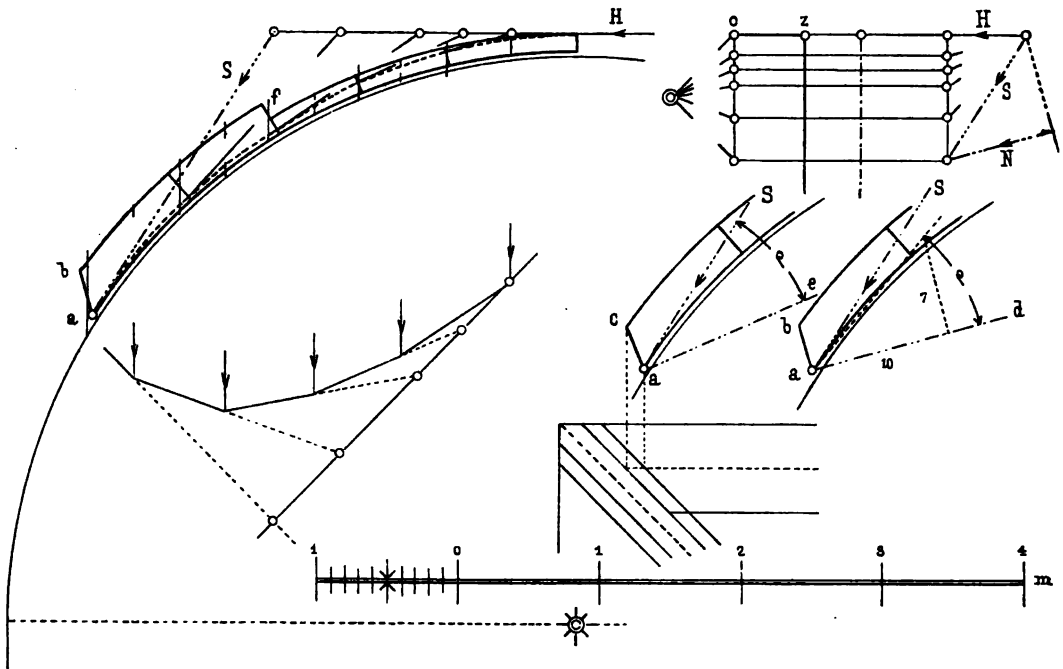
Im Hochbauwesen kommen Kreuzgewölbe, welche größere Kappenstärken als 1 Stein erfordern, selten vor.

Bei Kreuzgewölben, deren Kappen aus hinreichend festen und lagerhaften Bruchsteinen oder aus gutem Quadermaterial einzuwölben sind, kann die Kappenstärke ungefähr gleich $\frac{1}{25}$ ihrer Spannweite genommen werden.

Dafs diese nach empirischen Regeln angegebenen Stärken unter Umständen noch einer Prüfung auf ihre Stichhaltigkeit unterzogen werden sollten, mag durch Fig. 445 nachgewiesen werden.

Für das im Art. 248 (S. 363) gegebene Beispiel 1 ist bei dem mitgetheilten Kreuzgewölbe eine Spannweite von 8 m vorhanden. Hiernach könnte den vorhin angeführten Abmessungen zufolge eine Stärke der Kappen gleich $\frac{1}{2}$ Stein im Scheitel und 1 Stein bei den Schichten in der Nähe des Widerlagers genommen werden. Die in der Zeichnung vorgeführte statische Untersuchung eines derartigen, an der Stirnmauer liegenden größten Kappenstreifens, dessen Breite hier wiederum zu 0,60 m angenommen ist,

Fig. 445.



ergibt für die Berechnung seiner Stärke, da $H = 0,55 \text{ m}$ und $N = 0,76 \text{ m}$ gefunden werden, bei der Basis $ox = 0,5 \text{ m}$

$$\mathfrak{S} = 0,55 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,60} = \approx 0,46 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 0,76 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,60} = 0,633 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

Ein Vergleich dieser Werthe für \mathfrak{S} und \mathfrak{N} mit den in der Tabelle auf S. 202 enthaltenen Größen H und N zeigt, daß \mathfrak{S} eine etwas größere Stärke als $\frac{1}{2}$ Stein, \mathfrak{N} aber für die Stärke am Widerlager noch keine Dicke von 1 Stein fordert.

Da $N = 0,6$ Quadr., bzw. Cub.-Met. in jener Tabelle eine Stärke von $\frac{1}{2}$ Stein gestattet, so kann man auch unter Zulassung einer etwas größeren Pressung im Scheitel für $\mathfrak{S} = 0,46$ Quadr., bzw. Cub.-Met. die Stärke von $\frac{1}{2}$ Steinfüglich gelten lassen, und die Kappe in der nach der empirischen Regel empfohlenen Weise mit einer Verstärkung nach dem Widerlager gestalten.

Wohl aber sollte dabei noch geprüft werden, ob, bei der oft steil gehaltenen Anarbeitung der Widerlagsfläche am Grat, die Richtung des hier wirkenden Gewölbschubes S mit der Senkrechten auf der Fuge ab die Größe des zulässigen Reibungswinkels ρ nicht überschreitet.

Nach der ursprünglichen Annahme der Widerlagsfuge ab ist hier der Winkel Sad größer als der Winkel ρ . Hieraus folgt, daß die Widerlagsfuge, wie z. B. ac , so gerichtet sein soll, daß der Winkel Sae mindestens gleich dem Winkel ρ wird, d. h. diese Widerlagsfuge soll, um ein Gleiten des Streifens am Grat zu unterdrücken, überall nicht zu steil gestellt werden.

Außerdem sei darauf hingewiesen, daß zur geeigneten Erzielung einer stetigen Zunahme der Gewölbstärke vom Scheitel bis zum verstärkten Ansätze in der Kappe ein Ausgleich des Zwickels f durch Beton oder durch Ausfüllung mit Mörtel und Steinbrocken anzurathen ist.

Cylindrische Kreuzgewölbe von geringer Spannweite, welche etwa $3,0 \text{ m}$ bis $3,5 \text{ m}$ beträgt, erhalten, wenn keine fremde Belastung in Rechnung zu bringen ist, recht oft weder eine Verstärkung im Grat, noch besondere, selbständig ausgeführte Gratabogen. Ihre Kappen schneiden in der Ebene der Gratlinie zusammen. Solche Gewölbe sind Deckenbildungen mehr untergeordneter Art. Wird die Spannweite

größer als 3,5 m oder hat das Gewölbe noch eine Belastung durch Sandschüttung oder durch einen darüber befindlichen Fußboden aufzunehmen, so tritt bis zu Spannweiten von 6 m, je nach den obwaltenden Umständen, entweder eine Gratverstärkung, worüber unter 3 bei der Ausführung der Kreuzgewölbe noch das Nöthige gefagt werden soll, oder die Einführung selbständiger Gratabogen ein.

Bei größeren Spannweiten ist die Herrichtung solcher Gratabogen stets zweckmäßig. Bei den cylindrischen Kreuzgewölben erhalten diese Gratabogen unterhalb der Wölbfläche keine besonders gegliederten Ansätze (Profile); sie laufen vielmehr meistens in eine Schneide aus, welche dem Zusammenschnitt der angrenzenden Kappenflächen angehört. Die in lothrechten Ebenen liegenden geraden Erzeugenden der Widerlagsflächen der Kappen haben vom Fusse des Gratabogens bis zum Scheitel desselben verschiedene Neigungswinkel zur senkrechten Richtungsebene des Grades. In Folge hiervon wechselt in jedem Normalschnitt desselben auch seine mittlere Breite. Damit der Gratabogen durch die mittels Abschrägung seiner sonst lothrechten Seitenflächen zu gewinnenden Widerlagsflächen nicht zu sehr in seinem Verbande, bezw. seinem auf Druck beanspruchten Körper geschwächt wird, darf die wagrechte Projection desselben der Breite nach nicht zu gering bemessen werden.

Bei Spannweiten der Kappen bis etwa 4 m beträgt dieselbe bei Gratabogen aus Backstein mindestens 1 Stein, die Höhe oder Stärke des Grades hierbei gleichfalls wenigstens 1 Stein. Bei größeren Spannweiten bis etwa 9 m ist die Breite der Gratabogen $1\frac{1}{2}$ Stein, unter Umständen 2 Stein, ihre Stärke $1\frac{1}{2}$ Stein bis 2 Stein zu nehmen. Sind Gratabogen innerhalb der Spannweiten der Kappen von 4 m bis 9 m bei $1\frac{1}{2}$ Stein Breite im Scheitel 1 Stein stark angenommen, so sind dieselben nach dem Widerlager auf $1\frac{1}{2}$ Stein zu verstärken.

Bei Kreuzgewölben über 9 m Spannweite giebt nur die statische Untersuchung des Wölbsystems Aufschluss über die zu wählenden Stärken der Gratabogen, bezw. der Gewölbkappen. Werden bei Backsteinkappen bis etwa 6 m Spannweite statt der eigentlichen Gratabogen nur Gratverstärkungen eingeführt, welche mit dem Mauerwerk der Kappen im Verbande stehen, so ist diese Verstärkung bei einer Breite von mindestens 1 Stein in ihrer Gesammthöhe, einschliesslich der Kappenstärke über der inneren Gratlinie, gleichfalls nicht unter 1 Stein zu nehmen. Gratabogen aus genügend festen Bruchsteinen oder Quadern sollten bei kleineren Kreuzgewölben bis 6 m Weite nicht unter 0,20 m Breite und 0,25 bis 0,30 m Stärke, bei größeren Gewölben aber eine Breite von 0,30 bis 0,40 m mit einer Höhe von 0,30 bis 0,50 m erhalten.

Bei den offenen cylindrischen Kreuzgewölben aus Backstein, Bruchstein oder Quadern kann unter Berücksichtigung des Verhältnisses der Breite zur Dicke des Widerlagskörpers wie 1 : 1, bezw. 2 : 3 (vergl. Art. 256, S. 380) die Stärke der Eckpfeiler in der Richtung der Gratebene etwa zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite des ganzen Gratabogens gewählt werden. Hierbei ist die Höhe des Widerlagers von seiner Fußfläche bis zur Kämpferebene etwa gleich 3 m vorausgesetzt. Bei einer Höhe über 3 m ist jene Stärke um etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ des ganzen Höhenmaßes zu vergrößern.

Bei den geschlossenen cylindrischen Kreuzgewölben ist die Stärke der Mauerkörper an den Ecken des Raumes in der Richtung der Gratebene schätzungsweise zu $\frac{1}{7}$ der Spannweite des ganzen Gratabogens zu setzen. Bei einer Widerlagshöhe über 3 m ist diese Stärke ebenfalls entsprechend zu vergrößern.

261.
Widerlags-
stärke.

Die flachen Kreuzkappengewölbe erhalten in den meisten Fällen eine Gewölbstärke von $\frac{1}{2}$ Stein und Gratverstärkungen oder Gratsbogen von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stein Breite mit 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stein Höhe.

Dieselben Abmessungen gelten gewöhnlich auch für nicht sehr stark belastete ansteigende Kreuzgewölbe. Die Stärke der Widerlager dieser zuletzt erwähnten beiden Arten von Kreuzgewölben wird am besten durch eine statische Unterfuchung fest gestellt.

e) Verankerungen.

262.
Sichtbare
Ver-
ankerungen.

Wenn gleich die Stärke der Widerlager, d. h. der Eck- und Zwischenpfeiler der cylindrischen Kreuzgewölbe, von vornherein so groß genommen werden sollte, daß dieselben im Stande sind, dem vollen Gewölbschube mit ausreichender Sicher-

Fig. 446.

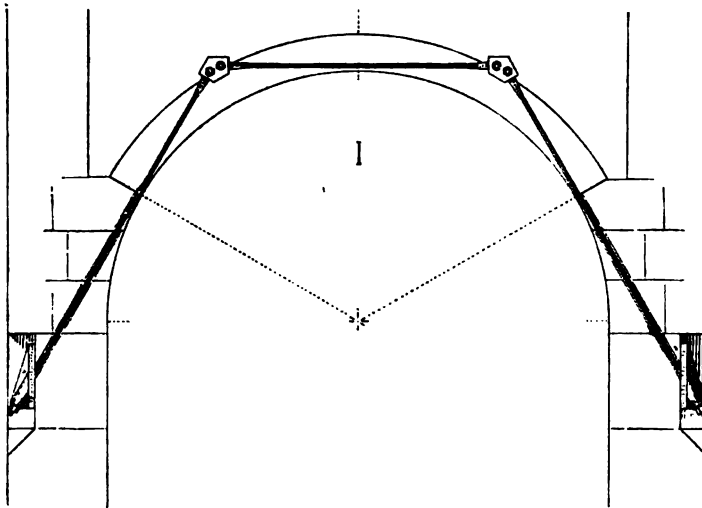
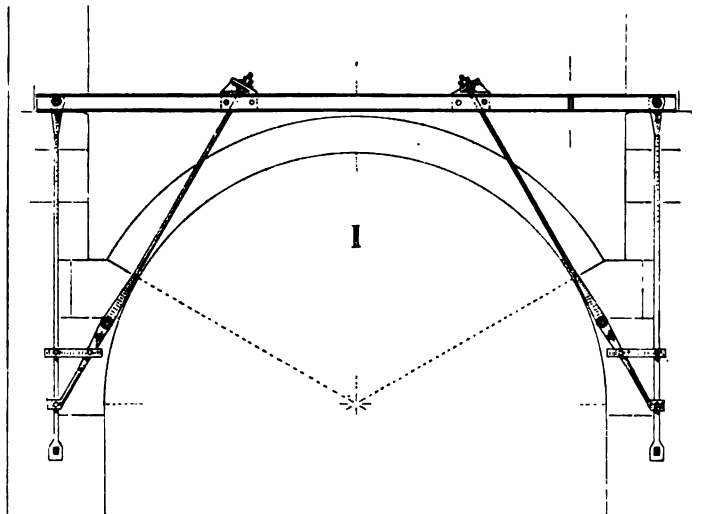


Fig. 447.



heit zu widerstehen, so können doch Umstände eintreten, welche eine besondere Verankerung und damit eine Verstärkung der Widerlagskörper, namentlich der Eckpfeiler, erforderlich machen. Immerhin dürfen diese Verankerungen bei Kreuzgewölben nur als Nothbehelfe angesehen werden.

Die aus Flach- oder Rundeisen bestehenden Ankerstangen würden ihre günstigste Lage in der Kämpferebene oder wenig darüber in der Richtung der Gratlinien erhalten, um damit dem Schube der Gratabogen am besten begegnen zu können. Eine solche Anordnung würde auch in wahrheitsgetreuer Weise auf den eigentlichen Zweck der Verankerung hinweisen. Eben so könnten bei offenen Kreuzgewölben zur Verankerung der Eckpfeiler und auch der Zwischenpfeiler die einzelnen Gurtbogen durch Ankerstangen, welche in der Kämpferebene angebracht würden, kräftig verpannt werden. Für diese einfachen Verankerungen gilt das in Art. 178 (S. 268) beim Kappengewölbe über Verstärkung seiner Widerlager Gefagte ebenfalls.

Kommen auch derart angebrachte Verankerungen bei Bauwerken älterer und neuerer Bauperioden vor, so können dieselben doch in manchen Fällen bei ihrer tiefen Lage unter dem Gewölbscheitel störend sein. Alsdann sind die Verankerungen der Grat-, bezw. Gurtbogen nicht mehr sichtbar zu lassen, sondern in das Innere dieser Wölbkörper zu verlegen. Derartige Verankerungen zeigen Fig. 446 u. 447. Bei der Anordnung I ist ein Gelenksystem gebildet, um ein zweckmäßiges Einleiten von Zugspannungen, hervorgerufen vom Gewölbschube am Widerlager der Grat- oder Gurtbogen, in die einzelnen Theile zu bewirken. Für die Berechnung der Querschnitte der Zugstangen, Ankerplatten u. s. f. ist aber zweckmäßig von einem Gewölbschube auszugehen, welcher einer Maximaldrucklinie im Grat-, bezw. Gurtbogen angehört, sonst jedoch nach dem in Art. 178 (S. 268) Vorgetragenen zu verfahren. Die Verankerung II, welche in ihrer aus der Zeichnung deutlich zu erkennenden Anordnung einer von *Durm* bei einem Tonnengewölbe mit Stichkappen ausgeführten Anker-Construction ¹⁷⁸⁾ entspricht, läßt sich auch bei Kreuzgewölben verwenden.

263.
Unsichtbare
Ver-
ankerungen.

3) Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe.

Die Kappen und die Gratabogen der cylindrischen Kreuzgewölbe sind Bestandtheile eines Tonnengewölbes. Ihre Ausführung hat also nach den Vorschriften zu geschehen, welche in Kap. 9, unter c mitgetheilt sind. Selbst die von den Römern geschaffenen, mit großen Spannweiten behafteten Kreuzgewölbe, welche im Allgemeinen aus Backsteinmaterial in Verbindung mit Gufswerk aus Steinbrocken und Mörtel bestanden ¹⁷⁹⁾, hatten die Ausführung der ähnlich hergestellten Tonnengewölbe zur Grundlage.

264.
Material.

Für die Kreuzgewölbe der Jetztzeit werden Backsteine, möglichst leichte, aber dennoch hinreichend feste, lagerhafte Bruchsteine und unter besonderen Verhältnissen leicht zu bearbeitende Quader zur Einwölbung verwendet. Als Bindemittel dient fehlerfreier Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein. Das über diese Materialien beim Tonnengewölbe in Art. 150 (S. 218) Mitgetheilte trifft auch beim Kreuzgewölbe zu.

Cylindrische Kreuzgewölbe werden im Allgemeinen auf einer durch Lehrgerüste unterstützten Schalung eingewölbt.

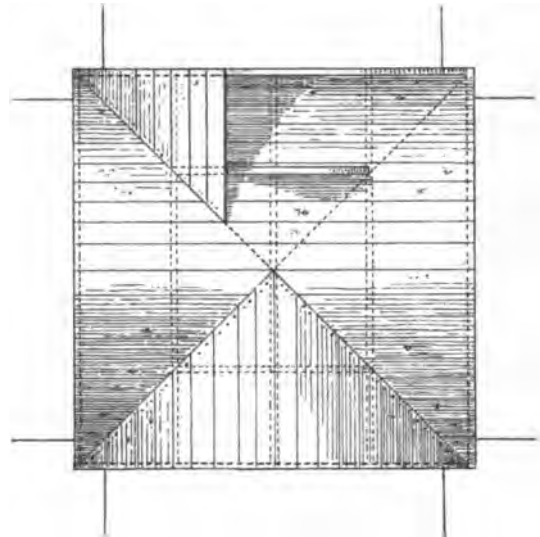
265.
Lehrgerüste.

¹⁷⁸⁾ Siehe: DURM, J. Der neue Friedhof in Karlsruhe. Zeitschr. f. Bauw., S. 3 u. Bl. 1-9.

¹⁷⁹⁾ Siehe Theil II, Band 2 dieses »Handbuchs«.

Kleine Gewölbe, bis etwa 4 m Weite, ohne Stechung können, wie in Art. 152 (S. 220) angegeben ist, nach Art eines Tonnengewölbes mit rechtwinkelig angefügten Stichkappen eingefacht werden (Fig. 448). Hierbei werden an den Stirnen des Kreuzgewölbes einfache Lehrbogen oder auch gewöhnliche Wölfscheiben als Randbogen aufgestellt. Zwei einander gegenüber liegende Randbogen tragen eine durchgehende Schalung, welche die Mantelfläche eines gewöhnlichen Tonnengewölbes liefert. Beträgt der Abstand dieser Randbogen über 2 m, so wird zur besseren Unterstützung der Schalung noch eine Wölfscheibe oder ein Lehrbogen in der Mitte zwischen den Randbogen aufgestellt. Auf der Schalung sind die Gratlinien unter Anwendung einer gefärbten Schnur genau und deutlich vorzureißen. Von denselben aus erfolgt die weitere Einschalung der an das Gewölbe tretenden Querkappen bis zu den hierzu

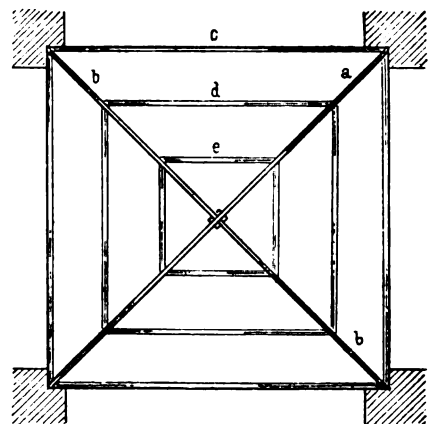
Fig. 448.



gehörigen Lehrbogen oder Wölfscheiben an den beiden anderen Randbogen. Auch diese Schalung kann nach Erforderniß noch durch Wölfscheiben unterstützt werden, welche alsdann ihr Lager auf der ersten Hauptschalung finden. Je sorgfältiger diese zweite Schalung bezüglich der Gratlinien vorgenommen ist, um so schärfer kommen die Grate nach der Ausführung des Gewölbes zum Ausdruck.

Größere Kreuzgewölbe, namentlich solche, welche Stechung erhalten sollen, müssen in anderer Weise eingerüstet werden. Sowohl für die Gratbogen, als auch für die Gewölbkappen werden besondere Lehrbogen aufgestellt. Nach Fig. 449 ist mit *a* ein ganzer, von einer Ecke zur gegenüber liegenden Ecke durchgeführter Lehrbogen für einen Gratbogen bezeichnet. Der Lehrbogen des anderen Grates besteht aus zwei Theilen *b*, welche sich gegen den Lehrbogen *a* fetzen und an demselben fachgemäß befestigt werden. Wie beim Kloostergewölbe in Art. 216 (S. 322) angeführt, werden diese Gratlehrbogen auch hier an ihrer Kreuzungsstelle durch einen Pfosten (Mäkler, Mönch) unterstützt. Für die Kappen werden Randlehrbogen *c* und bei größerer Länge der Kappen noch in Entfernungen von 1,0 m bis 1,5 m Zwischenbogen *d*, *e* aufgestellt. Dieses Bogen-System nimmt dann die Schalbretter oder die Schallatten auf. Sie sind zur Erzielung einer scharfen Gratlinie in ihrem Lager auf jedem Gratbogen genau zusammenzuschneiden, so daß ihre Fuge hier der Wölflinie des Grates vollständig entspricht. Das Austragen der oberen Begrenzungslinien der verschiedenen Lehrbogen erfolgt

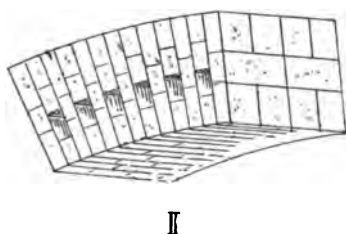
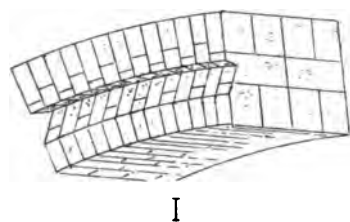
Fig. 449.



in der bei der Ausmittlung der Hauptstücke des Kreuzgewölbes gezeigten Weise. Die Construction der Lehrbogen geschieht nach den in Art. 152 (S. 220) gegebenen Mittheilungen. Eben so sind die Unterlagerungen, Ausrüstungsvorrichtungen und die Schalung des gesämmten Lehrgerüsts, wie beim Tonnengewölbe in Art. 154 bis 157 (S. 224 u. ff.) beschrieben, auch für cylindrische Kreuzgewölbe in Anwendung zu bringen. Offene Kreuzgewölbe erhalten für ihre Gurtbogen selbstredend gleichfalls eine Ausrüstung.

Sollen cylindrische Kreuzgewölbe aus Backstein oder unter Umständen auch aus leichtem Tuffstein auf Schwalbenschwanzverband errichtet werden, so kann, wenn die Einwölbung von geschickten Maurern ausgeführt wird, die Einschalung der Gewölbflächen ganz fehlen. Nur für die Grate werden Lehrbogen aufgestellt, und

Fig. 450.



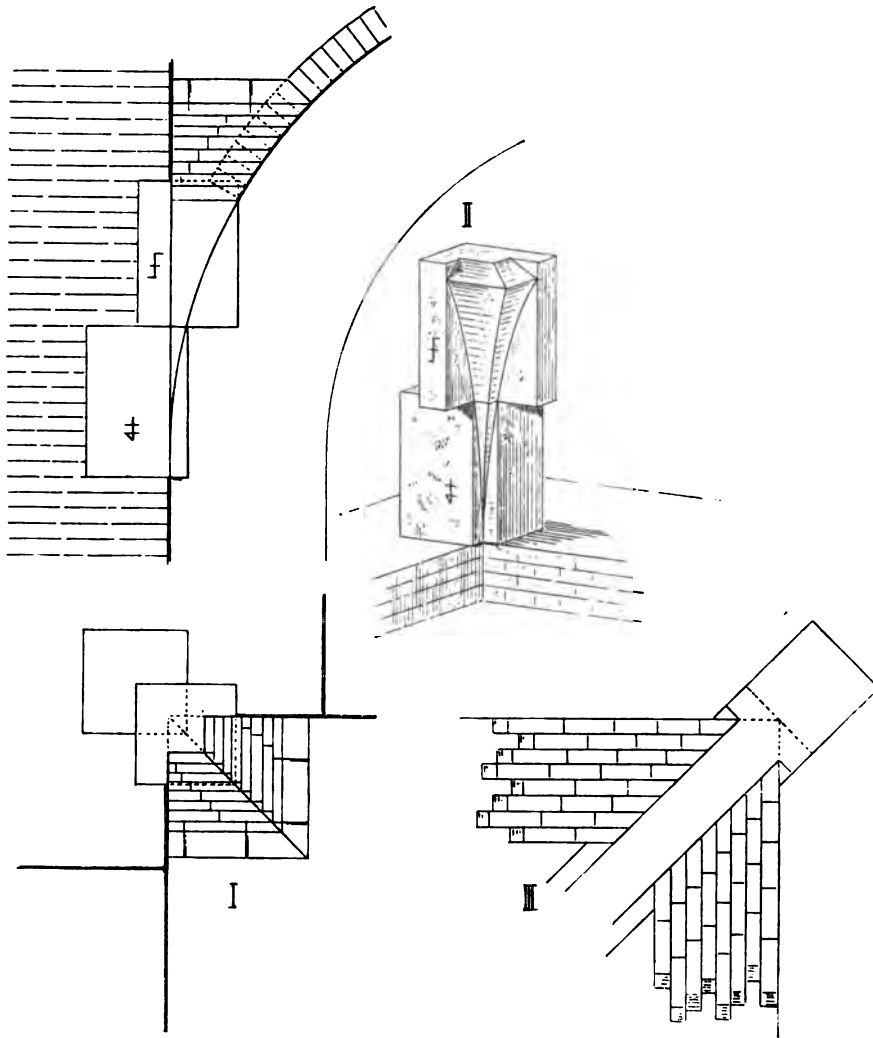
hierüber sind alsdann bei größeren Gewölben die Gratbogen, welche mit entsprechenden Widerlagsflächen für die Kappen zu versehen sind, selbständig herzustellen, oder bei kleineren Gewölben unter Berücksichtigung einer Gratverstärkung gleichzeitig mit der Kappenwölbung zu fertigen. Für die Ansätze der Kappen an den Stirnen sind nach Fig. 450 entweder wie bei I an den Gurtbogen, bezw. an den Stirnmauern die Widerlagsflächen angearbeitet oder wie bei II Verzahnungen gelassen, so daß hierdurch eine Lehre für das aus freier Hand zu bewirkende Wölben der Kappen vorhanden ist. Als weitere Lehre dient zweckmäßig ein Scheitelbrett, welches in seiner Oberkante die Scheitellinie vom höchsten Punkte der Randbogen bis zum Gewölbscheitel angiebt. Ueber diesem Brette, welches gehörig unterstützt ist, schneiden sich dann die zusammengestochnen Schichten der Kappen.

Kreuzgewölbe aus Backsteinen können bei geringer Spannweite und mäßiger Belastung auf Kuf ohne besondere Gratbogen, häufig auch ohne Gratverstärkung, ausgeführt werden. Die Lagerfugenkanten der Kappen laufen, gleichgiltig, ob das Gewölbe eine Stechung erhält oder nicht, in ihrer wagrechten Projection parallel mit den Axen der Kappen; sie sind, wie Fig. 451 bei I zeigt, in den einzelnen Schichten auf Verband zu ordnen und an der Gratlinie gegenseitig zu überbinden, so daß nach der Richtung dieser Linie eine Fugenebene nicht eintritt. Die Anfänger an den Ecken des Gewölbes werden durch Auskragen in wagrechten Schichten hergestellt, bis eine geeignete Fußfläche für die Gratsteine gewonnen ist. Weit besser wird jedoch der Anfänger, wie in II gegeben, aus festem Quadermaterial angefertigt. In jedem Falle ist zu beachten, daß gleich bei der Ausführung der Mauerkörper, welche demnächst die herzustellenden Kreuzgewölbe begrenzen, diese Anfänger von der einen oder der anderen Art an richtiger Stelle schon mit eingefügt werden, damit von Anfang an ein gesicherter, kräftig im Mauerwerk eingebundener Gewölbe-fuß für jede Kappe vorhanden ist. Sollen die Grate eine Verstärkung erhalten, so kann nach Fig. 452 auch hierbei der Verband auf Kuf angewendet werden.

Sind für größere und etwa stärker belastete Gewölbe selbständige, gleichfalls auf Kuf gewölbte Gratbogen herzurichten, welche alsdann ein geeignet angearbeitetes

266.
Kreuzgewölbe
aus
Backsteinen.

Fig. 451.

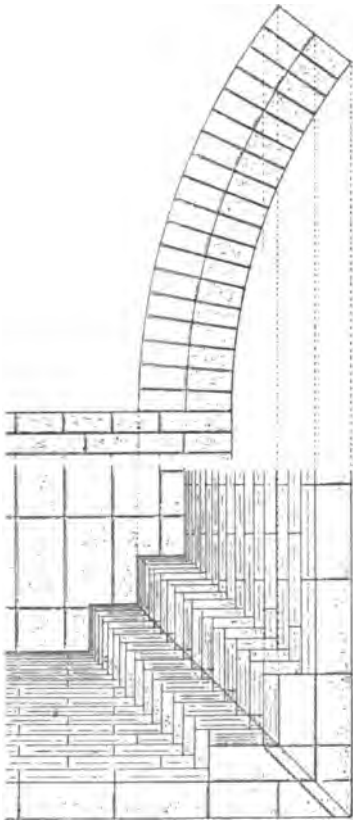


Widerlager für die Kappen bekommen, so wird hierdurch am Verbande der Kappen nichts geändert, selbst wenn dieselben einer größeren Belastung halber statt $\frac{1}{2}$ Stein 1 Stein stark werden müßten.

Beim Vorhandensein von besonderen Gratbogen kann auch die Einwölbung der Kappen im *Moller'schen* Verbande nach der Anordnung *III* in Fig. 451 stattfinden.

In den weitaus meisten Fällen wird die Einwölbung der Kappen der cylindrischen Kreuzgewölbe aus Backstein auf Schwalbenschwanz-Verband vorgenommen. Ein einigermaßen weit gespanntes Gewölbe erhält dann am besten immer selbständig auf Kufverband ausgeführte Gratbogen. Bei strenger und fachgemäßer Durchführung der Wölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband sollen die einzelnen Lagerflächen der Wölbschichten Ebenen angehören, welche rechtwinkelig zur Richtungsebene des Gratbogens und senkrecht zur Wölblinie desselben stehen. Die Schnittlinien dieser fog. Normalebenen des Grates mit den Kappenflächen bilden die Wölblinien der Schichten. Die jeder Schicht zugehörige Widerlagsfuge, bezw. Widerlagsfläche

Fig. 452.



am Grat- und am Rundbogen soll senkrecht zu den entstehenden Wölblinien gerichtet sein. Die für diese Forderungen notwendigen zeichnerischen Ermittlungen sind in Fig. 453 angestellt.

Für das zu Grunde gelegte Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundriss ist der Stirnbogen P der kleinen Seiten ein Halbkreis, der Randbogen U der langen Seiten eine halbe Ellipse mit der großen Halbachse δu und der kleinen Halbachse $\delta \delta_1$ gleich dem Halbmesser γu , bzw. $\gamma \gamma_1$ des Halbkreises P . Die wagrechte Projection des Gewölbscheitels ist s ; die Geraden $s\gamma$ und $s\delta$ sind die wagrechten Projectionen der geraden Scheitellinien für die mit einer Stechung ab versehenen Kappen A und B . Die Richtungsebene des Gratbogens von der Breite $\alpha\beta$ ist Rs .

Nach den in Art. 241 (S. 355) gemachten Mittheilungen ist auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege die lothrechte Projection as_1 der Wölblinie des Grates (Gratlinie) erhalten. Dieselbe gehört hier einer Ellipse mit den halben conjugirten Durchmessern ab und δs_1 an. Sollten die reellen Axen dieser Ellipse gefunden werden, so könnte man sich des in Art. 135 (S. 174) bei Fig. 284 angegebenen Verfahrens bedienen.

Für einen beliebig angenommenen Punkt f der Gratlinie ist mit Hilfe des halben Stirnbogens cs_1 , entsprechend dem grundlegenden Halbkreis P , eine Tangente T fest gelegt. Die in f auf T errichtete Lothrechte giebt in NE die Spur der vorhin bezeichneten Normalebene zum Grat in der lothrechten Projectionsebene, während das in E auf ad errichtete Loth EF die Spur jener Normalebene in der wagrechten Kämpferebene bestimmt.

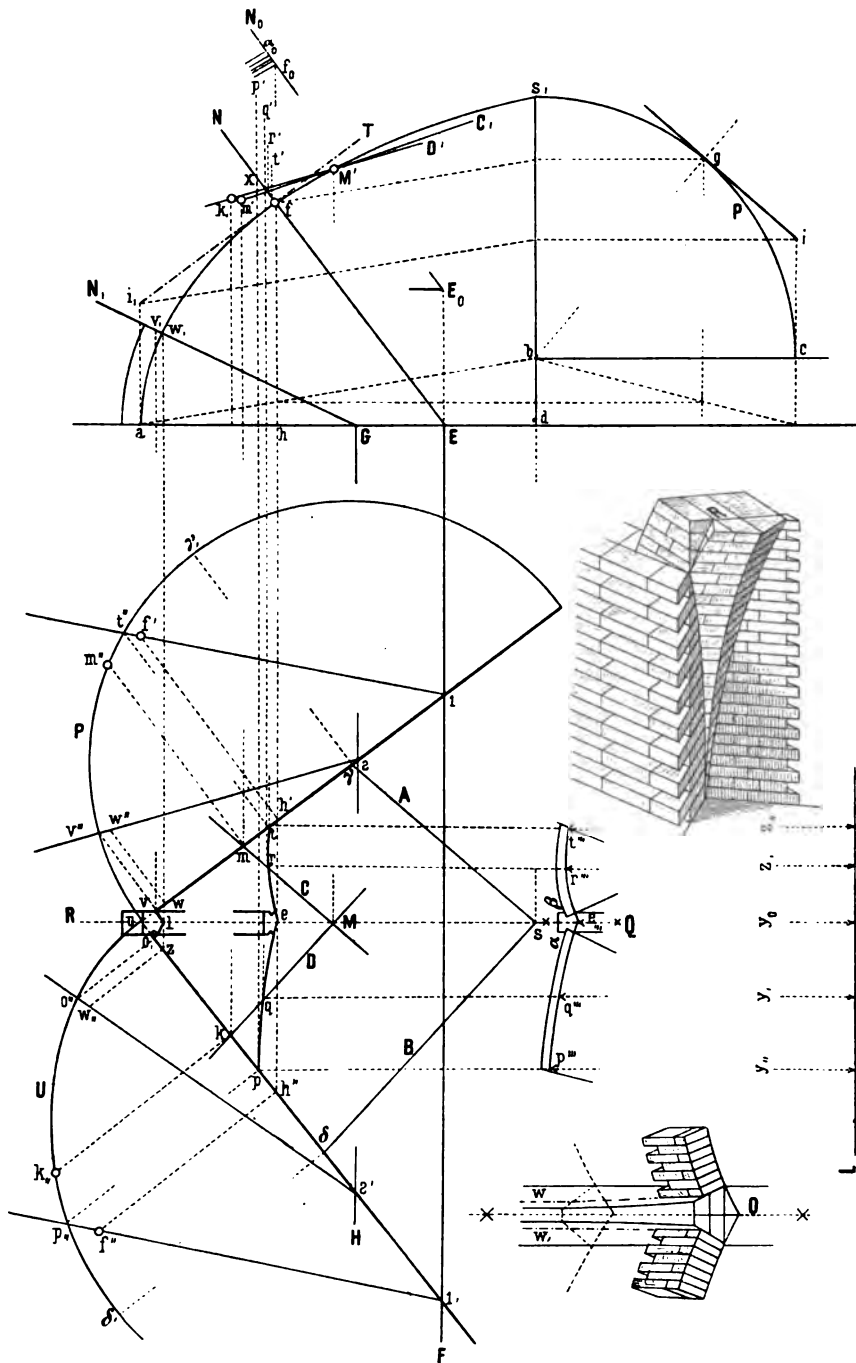
Die Projectionen der Schnittlinien der Normalebene in f mit den Laibungsflächen der Gewölbekappen A und B ergeben sich in folgender Weise. Die wagrechte Projection des Punktes f ist der Punkt e auf Rs . Von e laufen die wagrechten Projectionen ert und eqp dieser gesuchten Schnittlinien aus. Dieselben sind von Bedeutung, weil sie für die Richtung der Lagerfugenkanten, bzw. für die Gestalt der Wölblinien der am Gratbogen zusammentretenden Wölbschichten der Kappen A und B maßgebend werden. Um den Grenzpunkt t am Stirnbogen P zu ermitteln, ist die Schnittlinie st'' der Normalebene des Grates mit der lothrechten Stirnebene P unter Verwerthung der Höhenlage hf des Punktes f über der Kämpferebene ad gezeichnet. Für diese Schnittlinie st'' ist, wie sofort erkannt werden kann, $h_1f_1 = hf$ und der Punkt t der Schnittpunkt der Spur EF auf der verlängerten Geraden $u\gamma$. Der Strahl tf_1 trifft den Stirnbogen P im Punkte t'' . Derselbe ist die lothrechte Projection des Grenzpunktes der erwähnten Wölblinie in der Kappe A . Die wagrechte Projection desselben ist der Punkt t auf $u\gamma$.

Zur Bestimmung der Projectionen eines zwischen den Grenzpunkten e und t gelegenen Punktes solcher Schnittlinie ist der innerhalb e und t an beliebiger Stelle genommene Strahl mM parallel zur wagrechten Projection γs der Scheitellinie der Kappe A gezogen. Derselbe ist die wagrechte Projection einer geraden Erzeugenden dieser Kappe.

Die lothrechte Projection dieser, der Stechung des Gewölbes entsprechend ansteigenden Erzeugenden ist m, M , wobei M , auf der Gratlinie as , der Punkt m , über der Kämpferebene ad offenbar eben so hoch liegen muß als m , am Stirnbogen P über m auf $u\gamma$ liegt. Die lothrechte Projection m, M , der benutzten Erzeugenden durchstößt die Normalebene. Auf die lothrechte Projection dieses Durchstoßpunktes in NE ist durch die punktirte Lothrechte r , hingewiesen. Die wagrechte Projection r desselben liegt auf mM , und somit ist der Linienzug ert für die Kappe A ermöglicht. Auf demselben Wege ergibt sich der Zeichnung gemäß der zugehörige Linienzug eqp für die Kappe B , wie überhaupt mehrerer solcher Linien im Wölbbeiete $\gamma s\delta u$.

Die weiteren Wölbbeiete, welche stets durch die Scheitellinien der einzelnen Kappen getrennt werden, sind in gleicher Weise für sich zu behandeln. Auf diesen Scheitellinien treffen sich, dem Wesen des Schwalbenschwanz-Verbandes nach, die einzelnen Schnittlinien der entsprechenden Normalebenen der Gratbogen.

Fig. 453.



Soll der Gratbogen für die Bogenlänge aw , in wagrechten Backsteinschichten ausgeführt werden oder bis dahin reichend einen Anfänger aus Quadern erhalten, so ist zur richtigen Bestimmung der Widerlagsfläche des Grates in der Höhe w , wiederum eine Normalebene, deren Spuren N, G und GH find, zu führen, um danach die Projectionen lv und lo , bzw. w, v , der vorderen Kantenlinien der Fußfläche bei w , zu finden.

Um den wirklichen Querschnitt des Gratbogens und die wirkliche Gestalt der Wöblinien aus-

zutragen, welche dem Normalschnitte mit den Spuren NE und EF zukommen, ist die erforderliche Zeichnung in Q gegeben.

Für die Wölblinien ist $y_0 = Ef$, $z_0 = Er$, $z_{00} = Et$, über der lothrecht zu Rs geführten Linie L , welche danach eine Spur der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes darstellt, abgetragen und dabei y_0 in der Richtung Rs , z_0 in der durch r parallel zu Rs gezogenen Linie u. s. f. fest gelegt. Eben so ist $y_0 = Eq$, und $y_{00} = Ep$, genommen.

Hiernach erhält man in $f_{000}r_{000}t_{000}$ und in $f_{000}q_{000}p_{000}$ die wirkliche Gestalt jener Wölblinien für die Kappenschicht in A und B . Da die Breite $\alpha\beta$ und die Höhe des Gratabogens gegeben sind, so läßt sich, sobald die wirkliche Stärke der Wölbschichten oberhalb der Wölblinien angesetzt ist, mit Leichtigkeit die richtige Stellung der Widerlagsfugen senkrecht zu den betreffenden Wölblinien am Grat und an den Stirnmauern oder Randbogen eintragen und auch der wirkliche Querschnitt des Gratabogens, wie bei Q und beim Bilde R vom Anfänger des Grates gezeigt ist, fest stellen. Die lothrechte Projection α_0f_0 des Gratschnittes ist in der Richtung E_0N_0 parallel EN nach der Ausmittlung in Q besonders gezeichnet.

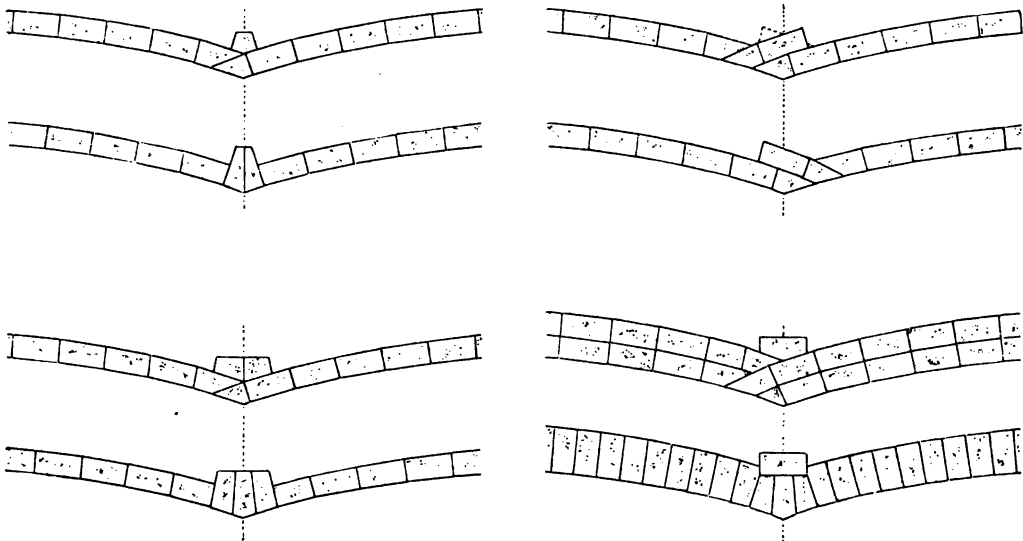
Läßt man nach der Darstellung in O die Widerlagsflächen am Grat nicht in der Form von Falzen, sondern als Flächen auftreten, welche vom Anfätze der Kappen aus nach dem Rücken des Gratabogens vollständig durchgeführt werden, so ergibt sich für den Gratkörper am Rücken zwischen den gesammten beiden Widerlagsflächen w und w , in jedem Normalschnitte eine andere Breite, weil die Neigungswinkel der verschiedenen Normalebenen zur wagrechten Kämpferebene in ihrer Größe stets von einander abweichen. Diefem Umstande ist bei der Ausführung der Gratabogen dadurch Rechnung zu tragen, daß mehrere Normalschnitte für den Grat ermittelt werden. Diese Arbeit ist im Besonderen nothwendig, sobald die Gratabogen für auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführte Kreuzgewölbe aus Quadern hergestellt werden sollen.

Die gegebenen Ermittlungen der sog. Normalschnitte der Gratabogen finden auch bei Kreuzgewölben über beliebig angeordneten regelmässigen oder unregelmässigen Grundrissen Anwendung.

Für Kreuzgewölbe ohne selbständige Gratabogen sind Gratverstärkungen stets zu empfehlen. Namentlich sind dieselben beim Schwalbenschwanz-Verbande gleich in

267.
Grat-
verstärkungen.

Fig. 454.



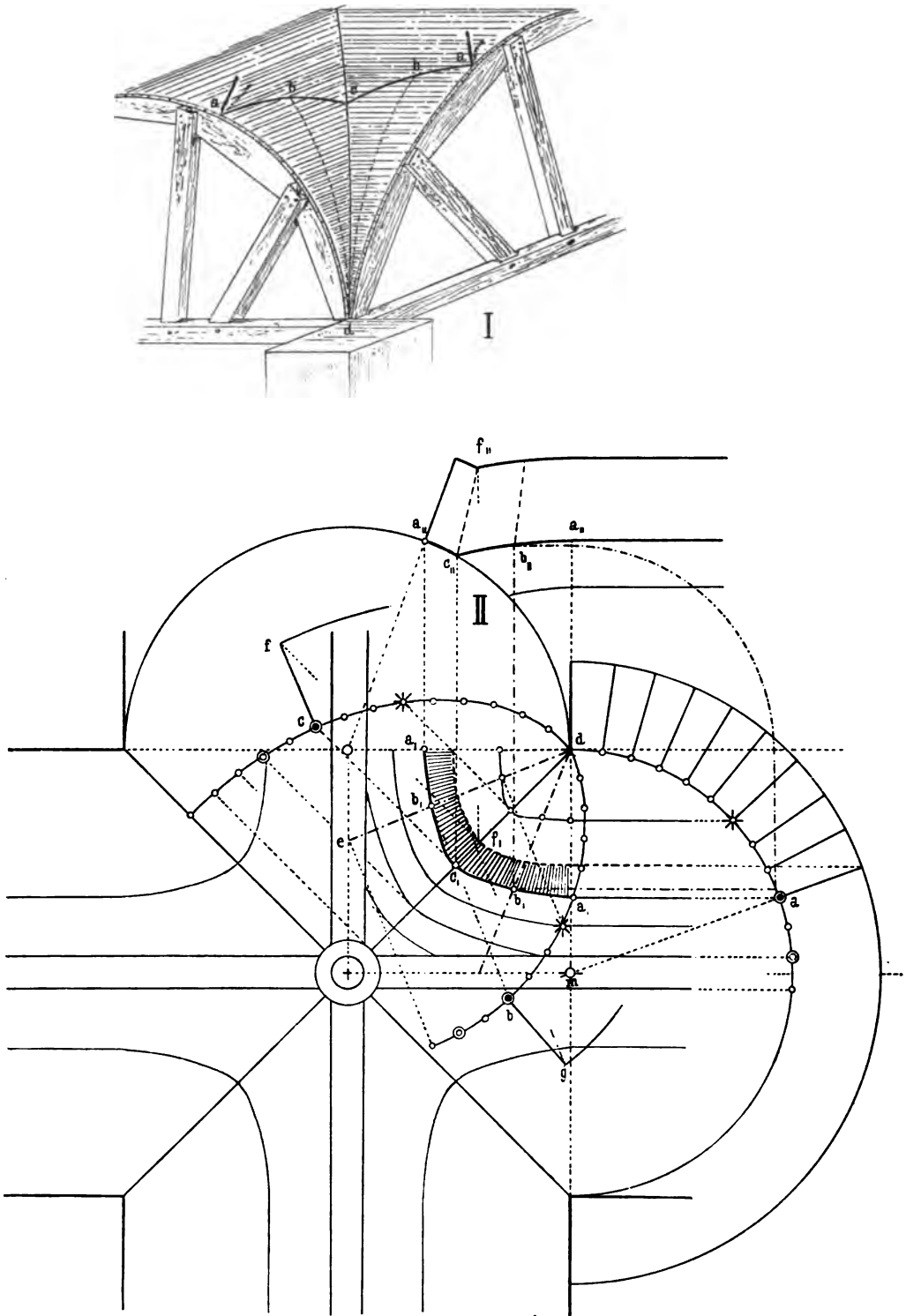
geeigneter Weise mit den über der Gratlinie zusammenschneidenden einzelnen Wölbschichten der Kappen in Verbindung zu bringen. In Fig. 454 sind derartige Backsteinverbände gegeben.

Cylindrische Kreuzgewölbe, welche mit sehr starker Belastung und dem gemäß auch mit entsprechend großer Kappenstärke zu versehen sind, können beim Fehlen

268.
Besondere
Verbandarten.

selbständiger Gratbogen oder der Gratverstärkungen in einem besonderen Kufverbande hergestellt werden, wobei die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten von

Fig. 455.



zwei zusammengehörigen Wölbcharen der benachbarten Kappen nach einem bestimmten Gesetze gebildete krumme Linien sind. Ein derartiger Verband ist für quadratische Kreuzgewölbe aus Backstein von 3 Stein Stärke bei einigen Festungswerken in Mainz¹⁸⁰⁾ in Anwendung gebracht (Fig. 455).

Zur Festlegung der Lagerfugenkanten gilt ein Gesetz, wonach, entsprechend I in Fig. 455, vom Fußpunkte d eines Gratbogens aus eine unveränderliche Bogenlänge da , deren Endpunkt a irgend einer Lagerfuge des Stirnbogens angehört, an der Laibungsfläche der zusammentretenden Kappen nach der Darstellung I so um d gedreht wird, daß diese Bogenlänge stets auf der Wölbfläche verbleibt und mit dem Endpunkte a die Lagerfugenkanten abc und cba beschreibt. Mit Hilfe einer in d befestigten Schnur lassen sich derart gebildete Lagerfugen auf der Schalung des Kreuzgewölbes für alle Kappen leicht und so weit erforderlich vorreissen. Der Plan II in Fig. 455 giebt die geometrische Ermittlung solcher Lagerfugen. Für einen Fugenpunkt a am Stirnbogen ist da die zugehörige Bogenlänge. Für den nach einer beliebigen lothrechten Ebene durch d geführten Kappenschnitt ist die Bogenlänge db ebenfalls gleich jener Bogenlänge da . Dasselbe gilt auch für den Gratbogen, wobei Bogenlänge dc gleich Bogenlänge da genommen ist. Hiernach ergibt sich die dem Theilpunkte a zukommende Lagerfugenkante in der wagrechten Projection als ein Linienzug a, b, c, b, a , und in der lothrechten Projection als $a,, b,, c,, a,,$. Die letztere Darstellung zeigt ein allmähliches Niederfinken der Lagerfugen von den Stirnbogen nach dem Gratbogen. Dieses Fallen der Fugen, welches bei ungeputzten Gewölben der Beobachtung nicht entzogen wird, schädigt das Ansehen der Kappen aber durchaus nicht.

Die den einzelnen Lagerfugenkanten angehörenden Lagerfugenflächen werden am zweckmässigsten als Normalflächen ausgeführt, d. h. die geraden Erzeugenden derselben sollen Normalen wie cf , bg u. f. f. in den betreffenden Bogenelementen c , b u. f. f. ihrer Schnittcurven sein. Die übrige Anordnung der Lagerfugen bei den durchgeführten, geradlinig begrenzten Schlussteinschichten ist aus der Zeichnung zu entnehmen.

Bei den Kreuzgewölben bilden sich oberhalb des Rückens und des Gewölbesfußes an den Ecken des überwölbten Raumes stets trichterartige Vertiefungen. Die Ausfüllung dieser schachtartigen Zwickel mit Backsteinmauerwerk oder Grobmörtel (Beton) sollte bei halbkreisförmigen, bzw. halbelliptischen Kreuzgewölben immer stattfinden, weil eine solche Ausfüllung für die Stabilität dieser Kreuzgewölbe im Allgemeinen günstig wirkt. Die Zwickelausmauerung oder -füllung kann etwa bis zu ein Drittel der Wölbhöhe der Gratbogen reichen. Bei Kreuzkappengewölben oder bei ansteigenden Kreuzgewölben wird das Anbringen der Zwickelausmauerung jedoch zweckmässig erst auf Grund einer Stabilitäts-Untersuchung entschieden, um hiernach, namentlich bei größeren Anlagen, etwaige Vortheile oder unter Umständen auch Nachtheile dieser Zwickelfüllungen klar zu stellen.

Hinsichtlich der Zeit der Ausführung der Kreuzgewölbe aus Backstein, der Vornahme der Ausrüstung derselben u. f. f. ist auf das in Kap. 9, unter c beim Tonnengewölbe Gefagte wieder zu verweisen.

Bei den Kreuzgewölben des Mittelalters ist Bruchsteinmaterial, selbst wenn dasselbe oft keine sehr lagerhafte Beschaffenheit befaß, in ausgiebiger Weise zur Verwendung gelangt. Bei den Kreuzgewölben der Jetztzeit jedoch ist vermöge des weit verbreiteten Ziegelmaterials die Verwerthung der Bruchsteine als Wölbsteine mehr in den Hintergrund gedrängt. Nur in Gegenden, in welchen zu billigen Preisen dünn-schichtige lagerhafte Bruchsteine oder hinreichend feste, aber leichte und unschwer zu bearbeitende Abarten der vulcanischen Tuffe zu gewinnen sind, werden Kreuzgewölbe aus diesem Material hergestellt. Der Verband im Mauerwerk der Kappen entspricht im Wesentlichen der Anordnung der aus Backstein ausgeführten Gewölbe.

Bei weniger lagerhaften und weniger regelmässig gestalteten Bruchsteinen findet meistens eine Wölbung auf Kuf Anwendung, während bei sehr lagerhaften, nicht zu

269.
Zwickel-
ausmauerung.

270.
Kreuzgewölbe
aus
Bruchsteinen

¹⁸⁰⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1869, S. 259.

großen Bruchsteinen mit vorwiegend regelmäßiger Form auch eine Mauerung auf Schwalbenschwanz-Verband vorgenommen werden kann.

Für Kreuzgewölbe aus Bruchsteinen ist in Rücksicht auf das leicht erfolgende Setzen (Senken) der Kappen die Annahme einer Stechung von etwa $\frac{1}{20}$ der größten Gratbogenweite vorteilhaft. Die Ausführung dieser Gewölbe erfolgt stets auf einer vollen Einrüstung mit Schalung. Auf die Verwendung eines sehr guten Mörtels, welcher die Fugen im Kappenmauerwerk vollständig füllt, ist besonders zu achten.

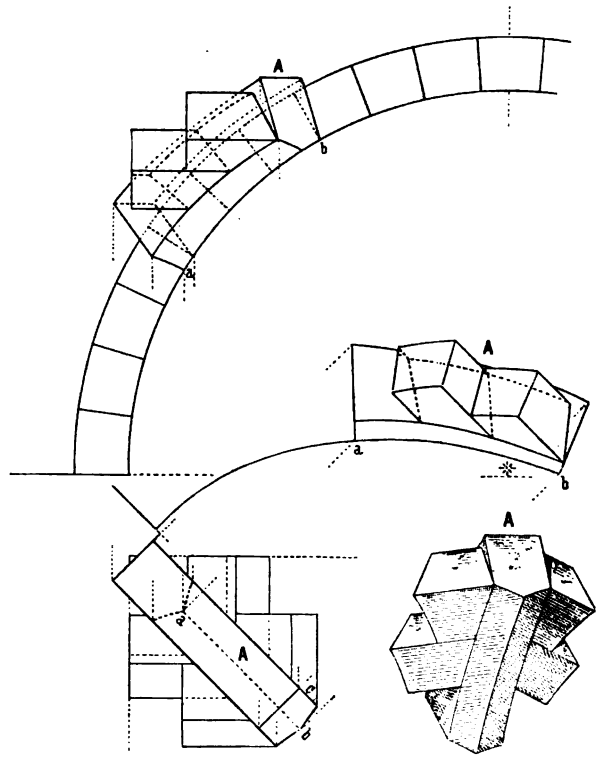
In einigen Gegenden ist es üblich, die Wölbsteine trocken auf der Schalung zu versetzen und schließlich mit flüssigem Mörtelbrei zu vergießen. Diese Einwölbungsart erfordert verhältnismäßig wenig Zeit, wohl aber die größte Aufmerksamkeit einerseits hinsichtlich der Vermeidung zu dicker Mörtelbänder, andererseits in Rücksicht auf das Herbeiführen einer vollständigen Ausfüllung der sämtlichen Fugen und einer innigen Verkitzung der einzelnen Steine durch den benutzten Mörtel.

Die Ausführung erfolgt, gleichgiltig, welche Verbandart für das Gewölbe gewählt wird, wie beim Kreuzgewölbe aus Backstein, gleichzeitig und gleichmäßig fort schreitend, von allen Gewölbfüßen an den Ecken des Raumes aus anfangend, bis zum Schluss des Gewölbes. Für die Ausfüllung der Gewölbzwickel ist Art. 269 (S. 393) zu beachten.

271.
Kreuzgewölbe
aus
Quadern.

Für cylindrische Kreuzgewölbe aus Quadern tritt bei den Wölbsteinen eine besondere Bearbeitung nach genau bestimmten Brettungen ein, welche, je nach der Gestalt des Gewölbes, in mehr oder weniger einfacher Weise nach Festlegen eines zu Grunde gelegten Fugenschnittes auszutragen sind. Um das Mühsame in der Bearbeitung dieser Wölbsteine nicht unnötig zu steigern, erhalten Kreuzgewölbe aus Quadern in der Regel keine Stechung; auch behält man in den Kappen meistens und auch zweckmäßig den Verband auf Kuf bei. In Folge hiervon nehmen die Kappensteine die Form der Wölbsteine der einfachen geraden Tonnengewölbe an, so daß nur für die eigentlichen Gratsteine ein besonderer Steinschnitt sich geltend macht. Das unvermittelt eingeführte Zusammentreten der Kappensteine in einer Fugenfläche, welche der lothrechten Ebene der Gratlinie folgt, wie solches beim Fehlen selbständiger Gratsteine sich ergeben würde, ist nicht gut, weil die in der Gratebene zusammenstoßenden Wölbsteine stets an einer Seite eine scharfe Schneide erhalten, welche bei Werkstücken möglichst vermieden werden soll.

Fig. 456.

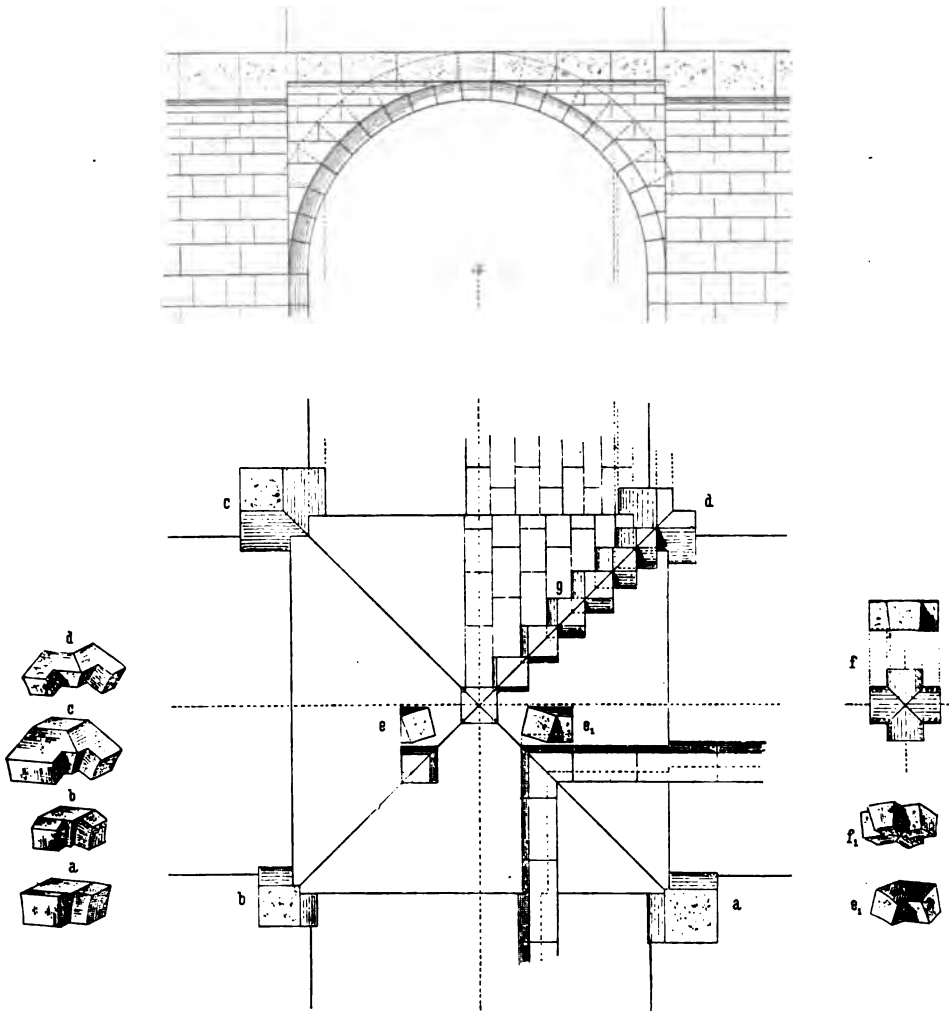


Dieser Mifsstand würde bei den Wölbsteinen auch nicht beseitigt sein, wenn die Grate, wie Fig. 456 angiebt, aus besonderen selbständigen Werkstücken *A* als für sich bestehende schmale Tonnengewölbe mit regelrechtem Fugenschnitte *a, b* u. f. f. ausgeführt würden, da deren lothrechte Seiten nur Schmieglflächen bieten, gegen welche sich die mit den Schneiden bei *c* dennoch behafteten Wölbsteine der Kappen legen.

Um Wölbsteine zu schaffen, welche sich mit lothrechten Stofsflächen und mit zur Laibungsfläche der Kappen senkrecht stehenden Lagerflächen an die Wölbkörper der Grate setzen, sind die einzelnen Gratsteine dieser Forderung entsprechend im Fugenschnitt zu behandeln.

272.
Quadergewölbe
über
quadratischen
Grundrifs.

Fig. 457.



Eine derartige Anordnung ist in Fig. 457 für ein cylindrisches Kreuzgewölbe über einer quadratischen Grundfläche gegeben. Die Gratsteine können, wie *g*, bzw. *e* zeigt, frei von besonderen, in die einzelnen Kappen reichenden Ansätzen bleiben oder, wie *e*₁, bzw. *f* und *f*₁ erkennen läßt, mit derartigen Ansätzen versehen werden. In letzterem Falle entstehen sog. Hakensteine, wobei der Schlufsstein *f*₁ des ganzen

Gewölbes die Kreuzform mit ihren vier Armen als Haken annimmt. Dieser letztere Fugenschnitt bedingt einen größeren Materialaufwand für die Gratsteine als der erstere, da bei der Bearbeitung der Hakensteine ein größerer Theil der Werkstücke als überflüssig fortgenommen werden muß.

Die Wölbsteine der Kappen sind regelrecht auf Kufverband zu ordnen. Der Fugenlage dieses Verbandes folgend, sind sowohl die einfachen Gratsteine e, g u. f. f., wie auch die Hakensteine e_1, f_1 u. f. f. auszubilden. Bei der Annahme von Hakensteinen ist eine über etwa 20 cm gehende Länge der Haken zu vermeiden.

Bei Quadergewölben bestehen die Anfänger zweckmäßig aus mehreren Schichten a, b, c , welche in den einzelnen Steinen nach den Angaben in Art. 266 (S. 387) nur schmale, in den höheren Schichten allmählich verbreiterte Lagerflächen für die Wölbsteine, Gratsteine, bezw. Bogensteine der Rand- oder Gurtbogen erhalten, sonst aber in wagrechten Lagerflächen auf einander gesetzt sind. Auf die letzte Schicht c legt sich der Stein d , welcher Wölbstein, Gratstein und Gurtbogenstein zugleich ist.

Das Austragen der Brettungen (Schablonen) für die einzelnen Steinkörper kann nach Festlegen ihrer Grund- und Aufrissprojectionen ohne besondere weitere Hilfsmittel bewirkt werden.

Wie in Art. 246 (S. 361) erörtert, findet durch den Gratkörper der Kreuzgewölbe die Ueberlieferung der Drücke des Gewölbes nach dem Widerlager statt. Aus diesem Grunde erscheint es auch bei Quadergewölben rathsam, hinsichtlich der Anordnung des Fugenschnittes für die Gratsteine von der Vorschrift Gebrauch zu machen, die Grate aus einzelnen Steinen so zusammenzusetzen, daß dieselben gleichsam als selbständige schmale Tonnengewölbkörper mit durch die Gratlinie getrennter Laibungsfläche auftreten. Die Lagerflächen der Gratsteine sollen dieserhalb zu der Wöblinie des Grades, also zur Gratlinie selbst und deren Ebene senkrecht stehen. Außerdem sollen diese Gratsteine aber auch für die Wölbsteine der Kappen geeignete Lagerflächen und namentlich durchweg lothrechte Stofsflächen als Ansatzflächen bieten.

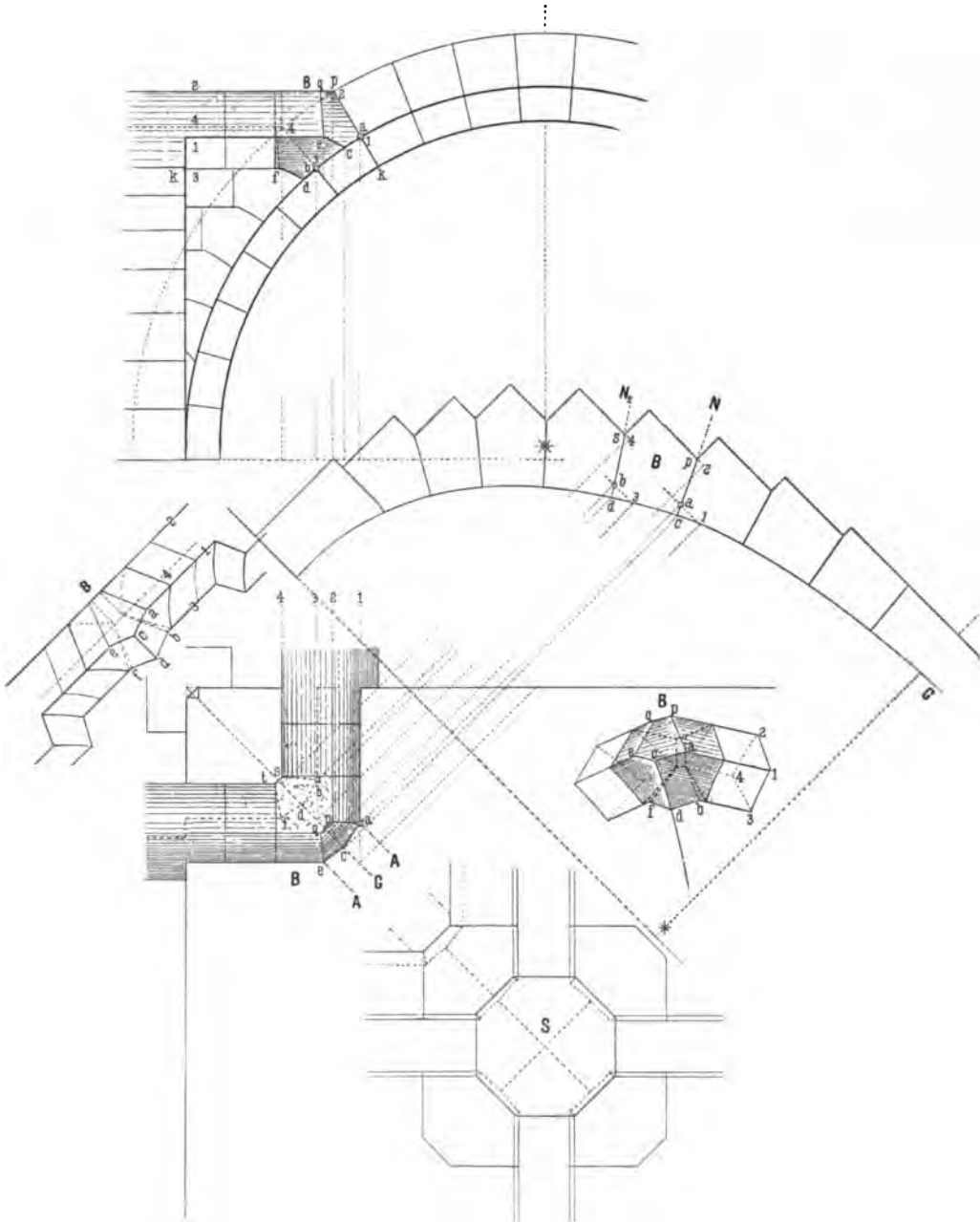
Hierdurch werden Hakensteine und eben so etwaige scharfe Schneiden an den Wölbsteinen, so weit dieselben an die Seiten der Grate treten, vermieden; die Grate selbst aber werden in geeigneter Weise als Träger des Gewölbes eingeführt. Den gestellten Bedingungen ist der in Fig. 458 gegebene Fugenschnitt für ein Kreuzgewölbe mit quadratischem Grundriss unterzogen worden.

Die Randbogen sind Halbkreise. Die Fugentheilung ist für alle Randbogen dieselbe. Das Gewölbe erhält keine Stechung; seine Gratabogen sind halbe Ellipsen. Für die Wölbsteine der Grate ist in erster Linie die Breite $AA = 2 GA$ als normale Breite der unteren Begrenzung der vorhin bezeichneten Lagerfugenfläche der Gratsteine fest zu setzen. Wenn gleich diese Breite beliebig groß gewählt werden kann, so ist doch zur Vermeidung des Zusammenschneidens der noch näher zu bestimmen, von a und e ausgehenden Schnittlinien der normalen Lagerflächen am Gratstein mit den Lagerflächen der eigentlichen Kappensteine die Entfernung AA unter Berücksichtigung der Theilung der Stirnbogen nicht zu gering zu nehmen. Im Allgemeinen wird die Breite $AA = 25$ bis 30 cm genommen.

Um die Projectionen irgend eines Gratsteines, z. B. von B , zu bestimmen, hat man zu beachten, daß die wagrechte Lagerkante 1 eines Kappensteines mit der Lagerfuge 12 die in A parallel zur Richtungsebene G des Grades gedachte lothrechte Ebene im Punkte a trifft. Führt man durch a die Normalebene N zu der Gratlinie G , so schneidet dieselbe diese Gratlinie in c und die Laibungsflächen der Kappen nach den Linien ca , bezw. cc . Diese Schnittlinien können nach den Angaben in Art. 266 (S. 389) näher

fest gelegt werden. Die wagrechte Erzeugende z der Lagerfugenfläche $1z$ trifft die Normalebene N im Punkte p , so dafs, wie aus der Zeichnung zu erkennen, ap , bzw. eq die Schnittlinien der normalen Lagerfläche für N mit den Lagerflächen der Kappensteine werden. Begrenzt man den Gratstein B oben durch eine den Punkt p enthaltende wagrechte Ebene, so ist hiermit auch die Rückenfläche dieses Steines

Fig. 458.



bestimmt. Für die zweite normale Lagerfläche $bdfst$ desselben ist die Normalebene N_1 maßgebend. Dieselbe ist durch den Punkt b zu führen, in welchem die Lagerkante 34 der Lagerfuge 34 des betrachteten Kappensteines die vorhin erwähnte Ebene A trifft. Die Bestimmung der Schnittfläche $bdfst$ erfolgt genau in der für die Schnittfläche $acegp$ angegebenen Weise. Führt man durch die Punkte s ,

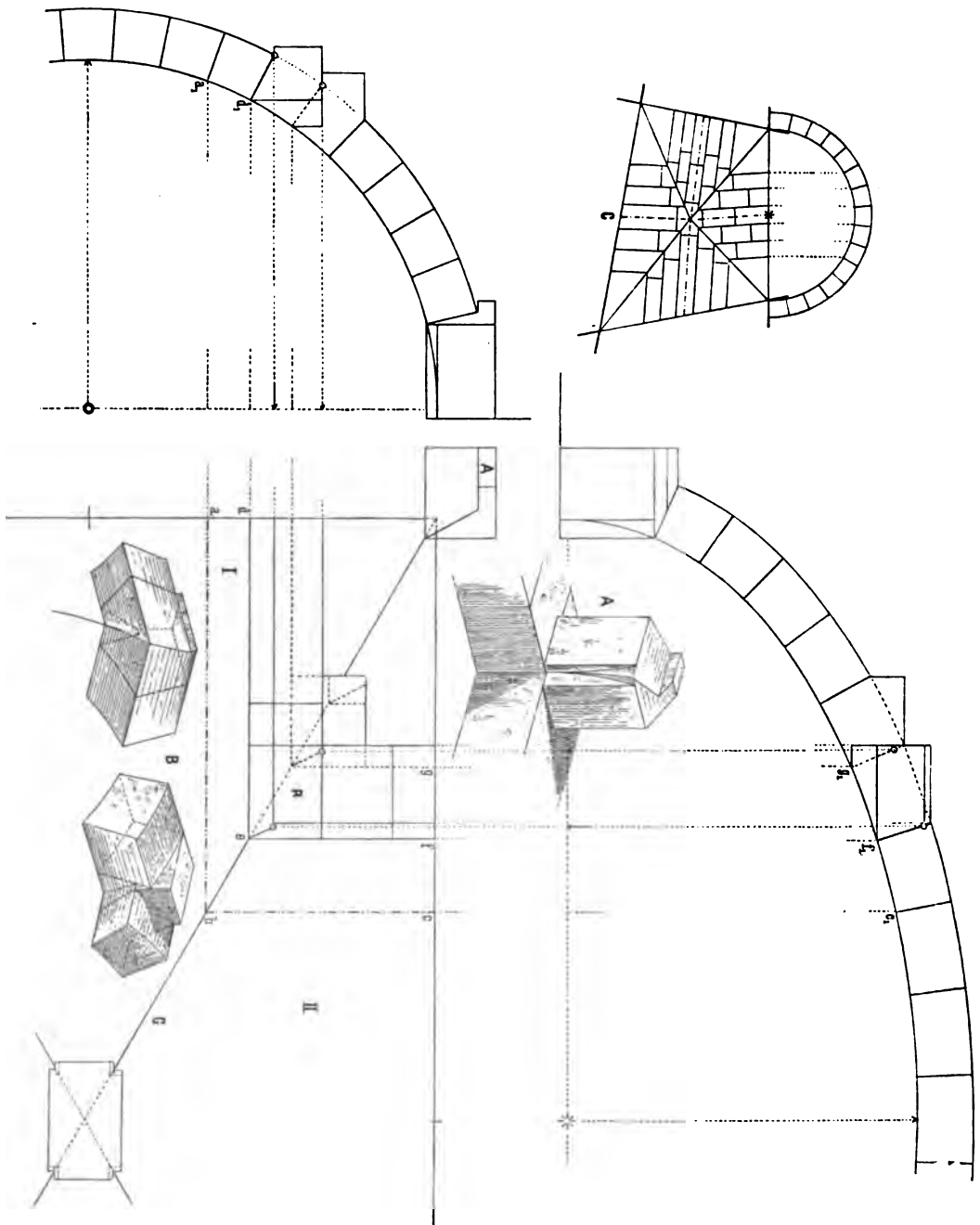


Fig. 459.

bezw. t lothrechte, parallel zu den Stirnen der am Gratstein B zusammenstoßenden Kappen genommene Ebenen, so ergeben sich die Stofs- oder Ansatzflächen für die angrenzenden Kappensteine. Oberhalb der Geraden ts wird der Gratstein lothrecht abgeschnitten. Aus der Zeichnung sind die sämtlichen Projectionen dieses Steines, welche für das Anfertigen seiner Brettungen maßgebend werden, zu entnehmen. Bei der Anwendung des beschriebenen Fugenschnittes nehmen sowohl die Gratsteine, deren Projectionen der Reihe nach fest zu legen sind, als auch der Schlussstein im Grundriss eine polygonale Gestalt an.

Bei Kreuzgewölben aus Quadern über einem rechteckigen Grundriss kann nach Fig. 459 der Fugenschnitt in der folgenden Weise angeordnet werden.

Theilt man den Randbogen der kürzeren Seite, welcher hier als Halbkreis angenommen ist, in eine ungerade Anzahl gleich großer Wölbsteine ein und legt man, den Theilpunkten a_1, d_1 u. f. f. entsprechend, die wagrechten Projectionen der ihr zugehörigen Lagerkanten ab, de u. f. f. parallel mit der Scheitellinie der kleinen Gewölbkappe I fest, so kann man die auf der Gratlinie G liegenden Punkte b, e u. f. f. als Ausgangspunkte für die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten bc, ef u. f. f. der breiteren Kappe II annehmen. Diese Kanten laufen parallel mit der Scheitellinie dieser Kappe. Da dem Kreuzgewölbe keine Stechung gegeben ist, so sind sämtliche Lagerfugenkanten gerade Linien. Der Randbogen der Kappe II ist eine halbe Ellipse. Die Lagerfugenkanten bc, ef u. f. f. haben in der wagrechten Projection einen größeren Abstand, als die Lagerkanten ab, de u. f. f. der Kappe I , und in Folge hiervon werden, da die Lagerkanten bc, ef u. f. f. die Theilungen der Wölbsteine am elliptischen Randbogen der Kappe II bedingen, die Wölbsteine dieser Kappe in ihrer wagrechten Projection breiter, als bei den zugehörigen Wölbsteinen der Kappe I . Aus leicht ersichtlichen Gründen werden aber auch die Bogenlängen e_1f_1, f_1g_1 u. f. f. für die einzelnen Wölbchichten der Kappe II verschieden groß, so daß der Randbogen derselben eine ungerade Anzahl ungleich großer Theilungen erhält. Bei dieser Anordnung gestaltet sich der Fugenschnitt für die einzelnen Gratsteine, mögen dieselben hakenförmige Ansätze erhalten oder frei von denselben bleiben, äußerst einfach. Die Ermittlung der Projectionen eines beliebig gewählten Gratsteines B , welcher noch durch eine perspectivische Darstellung in seiner Vorder- und Rückseite näher verdeutlicht ist, ergibt sich ohne weitere Ausführungen aus der Zeichnung. Eben so ist die Durchbildung des Anfängers leicht zu erkennen. In derselben Weise kann der Fugenschnitt, wie die Zeichnung in C angiebt, auch für unregelmäßige Kreuzgewölbe eingeführt werden. Die Lagerfugenkanten sind in der wagrechten Projection parallel zu den Scheitellinien der zugehörigen Kappen zu legen, während die Stofs- oder Lagerfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten unter Beobachtung eines regelrechten Verbandes der Wölbsteine zu nehmen sind.

Der beschriebene Fugenschnitt kann aber z. B. bei sehr lang gestreckten rechteckigen oder sehr unregelmäßig gestalteten Grundrissen vermöge der ungleichen Breiten der Wölbsteine in einzelnen Kappen ein unschönes Ansehen der Gewölbebildung im Gefolge haben; auch fordert derselbe, so einfach an sich die Bearbeitung der Gratsteine wird, doch immer bei der Herrichtung der Wölbsteine der mit verschieden großen Wölbchichten behafteten Kappen einen erhöhten Arbeitsaufwand. In solchen Fällen ist dieser Fugenschnitt zu verlassen. An seine Stelle tritt alsdann besser der in Fig. 460 behandelte Steinschnitt.

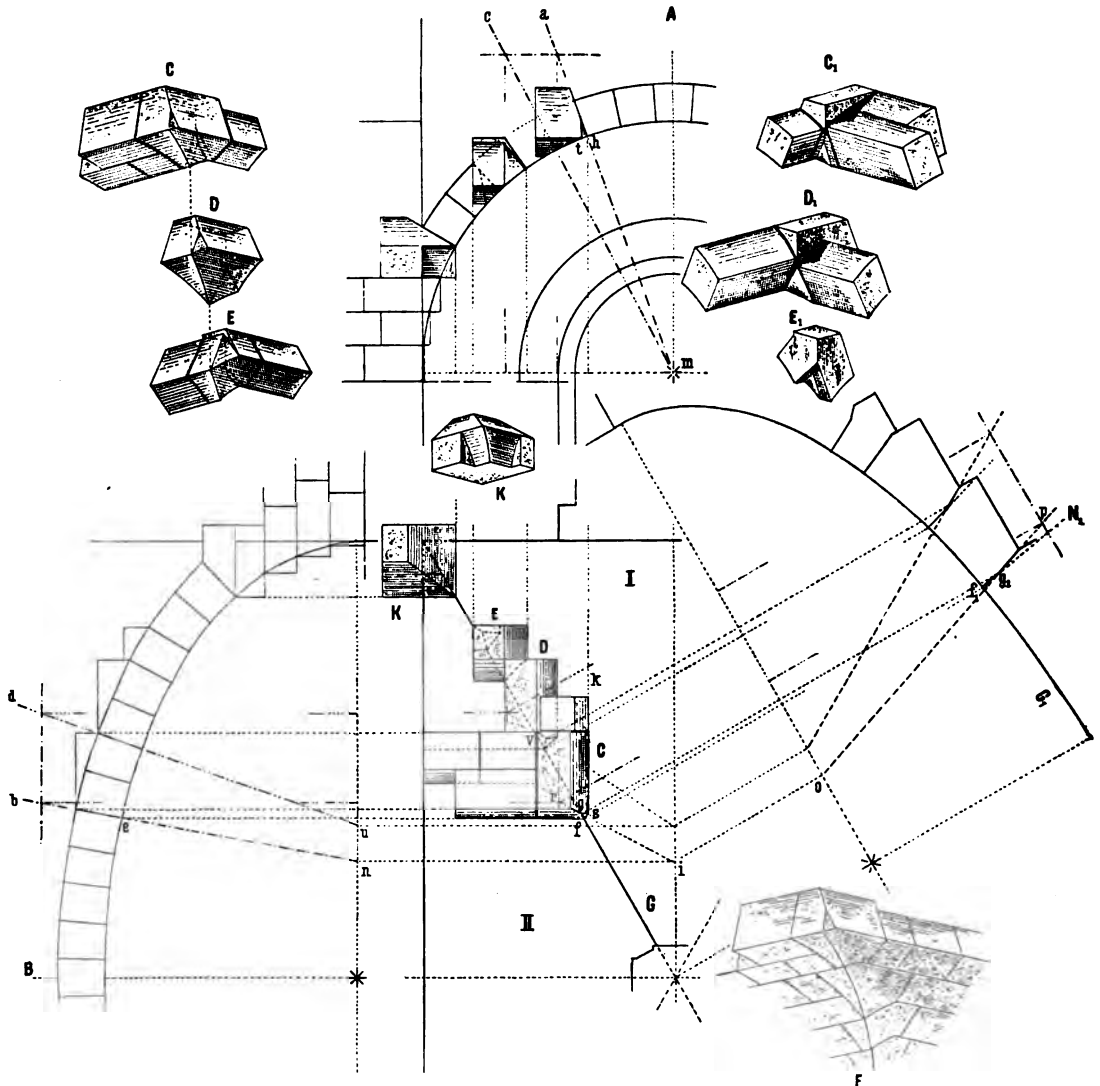
Hierbei erhält sowohl der kleinere Randbogen A , als auch der größere Stirnbogen B eine ungerade Anzahl je für sich gleich großer Theilbreiten und diesen Theilungen entsprechend geordnete Gratsteine, daß, je nach Wunsch, eine oder zwei Wölbchichten der zusammentretenden Kappen I und II gegen einen Gratstein treten. Die hierzu nöthigen Stofsflächen gehören rechtwinkelig zu den Lagerkanten gestellten Ebenen an. Sollten die Gratsteine hakenförmig gebildet werden, so wird hierdurch am Fugenschnitt keine wesentliche Abänderung geschaffen. Bei einem Gratsteine C ist die Lagerfugenkante der senkrecht zum Randbogen B stehenden Lagerebene nb , im Zusammenhange mit dem Punkte e in ihrer wagrechten Projection bis zum Punkte f auf der Grundrissprojection G des Grathogens fortgeführt. Dieser Lagerkante liegt die Lagerfugenkante k , welcher einer Lagerfugenebene ma , also dem Punkte h der Kappe II angehört, am nächsten.

Die Ebenen ab und ma liefern eine gerade Schnittlinie, deren wagrechte Projection als ir , wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, bestimmt wird. Die Lagerfugenkanten, welche den Punkten e und h angehören, haben aber im Allgemeinen eine von einander verschiedene Höhenlage über der Kämpferebene des Gewölbes, so daß die Gerade ir nicht durch den Punkt f geht. Am Gratstein C liegt die durch f gehende Lagerkante der Kappe II tiefer, als die Lagerkante k der Kappe I . Führt man nun durch den

273.
Quadergewölbe
über
rechteckigen
Grundriss.

tiefer gelegenen Punkt f am Gratbogen eine Normalebene, welche in der Hilfsprojection G_1 als $f_1 N_1$ entspringt, so schneidet dieselbe von den beiden über k und f liegenden Lagerflächen ein mehr oder weniger großes, senkrecht zum Gratbogen stehendes Flächenstück ab. Die Projectionen dieses Stückes lassen sich unter Beachtung der Projection op , welche der Schnittlinie ir entspricht, im Hinblick auf die Zeichnung leicht ermitteln, sobald nur noch nach dem in Art. 266 (S. 389) Vorgeführten die Projectionen fs und th der Schnittlinie, welche die Normalebene $f_1 N_1$ auf der Kappe I hervorruft, berücksichtigt werden. In derselben Weise ergibt sich auch die Grundrissprojection der Normalschnittfläche v am Gratsteine C , wofür die nöthigen zeichnerischen Durchführungen noch näher in Fig. 460 mit angegeben

Fig. 460.



sind. Auf gleichem Wege sind auch die Projectionen der Gratsteine D und E erhalten. Im Bilde sind diese Steine in Vereinigung mit den anstoßenden Gewölbsteinen der Kappen sowohl von der Vorderseite, wie in C , D , E , als auch von der Rückseite, wie in C_1 , D_1 , E_1 , noch besonders gegeben. Die Darstellung F zeigt das Zusammenfügen der Gratsteine mit den Kappensteinen, während K dem oberen Stücke des Gewölbanfängers angehört, welcher unterhalb K hier aus wagrecht über einander liegenden Schichten ausgeführt ist.

Das Veretzen der Quader bei Kreuzgewölben, das Einführen des Mörtels u. f. w. folgt dem in Art. 170 (S. 246) Gefagten.

b) Gothische Kreuzgewölbe.

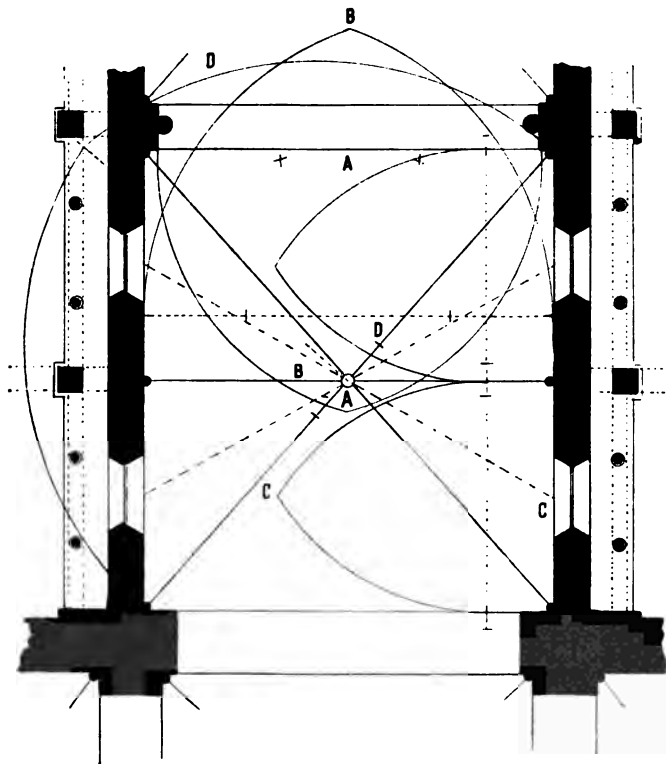
Das Wesen der gothischen Kreuzgewölbe, wodurch sich dieselben von allen anderen Gewölben unterscheiden, ist hinsichtlich ihrer Gestaltung in Art. 237 (S. 348) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwicklung des romanischen Kreuzgewölbes gefunden haben.

Die besondere Bildung dieser in der Baukunst eine hervorragende Stellung einnehmenden Gewölbe hat aber noch mannigfache und wichtige Punkte zu berücksichtigen, welche die kunstvolle Technik in der Anlage und Ausführung dieser Gewölbkörper an sich und in ihrem Zusammenhange mit den zugehörigen Widerlagstheilen näher berühren.

Die Kreuzgewölbe der Blüthezeit der Gothik bekunden ein besonders in den Vordergrund tretendes Bestreben, welches darauf gerichtet war, die Wölb- und Widerlagsmassen so zu gliedern und unter Beseitigung von ängstlichen Theilungen beim Zerlegen größerer zu überwölbender Räume so zu gestalten, daß unter dem Aufwande aller Sorgfalt beim Schaffen der mit sicherer Standfähigkeit behafteten Bauwerke kein Theil derselben einen verletzenden Ueberfluß an Material zeigen sollte. Constructionsystern und Form sind in eine innige, sich gegenseitig bedingende Verbindung gebracht, gerecht und wohl geordnet.

Als ein wesentliches Hilfsmittel zur Erzielung dieser Verbindung ist die Verwendung des Spitzbogens anzusehen. Wesentlicher aber noch ist bei den gothischen Gewölben die Theilung des Gewölbefeldes durch selbständige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Diese bilden in ihrer gesammten Anordnung ein eigentliches Tragsystem; sie nehmen zwischen sich die besonders gewölbten Kappenstücke auf und übertragen die Gesammtlast der Deckenbildung auf einzelne bestimmte Stützpunkte. Diese Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im Allgemeinen als Freistützen gestaltet werden können. Sie besonders standfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verschwenden, ist eine vorwiegende Bedingung. An den hauptsächlichsten Stützpunkten angelegte Strebepfeiler oder mit Strebepfeilern ver-

Fig. 461.



bundene, frei aufsteigende Strebebogen entsprechen jener Bedingung. So entsteht ein vollständig gegliedertes Gewölb- und Stützensystem, welches, an und für sich und unabhängig von dem zwischen den Stützen einzufügenden Mauerwerke der Umfangs- oder Scheidemauern des zu überdeckenden Raumes, den eigentlichen Kern des ganzen Bauwerkes bildet.

Im Gefolge hiervon steht die freie Auflösung der Massen. Die Umfangsmauern, wenig oder gar nicht vom Gewölbschube berührt, bedürfen keiner erheblichen Stärke; sie können in ausgiebigster Weise durchbrochen oder, mit Oeffnungen versehen, sich dem gefamnten Organismus des Bauwerkes einfügen. Immer behält die Construction des Gewölb- und Stützensystemes die Herrschaft. Bei dem gewissenhaften Abwägen der Massen, möglichst entsprechend den in ihnen wachgerufenen Kräften, ist in Abhängigkeit von der Construction die Form des Bauwerkes abzuleiten, zu gliedern und kunstgerecht zu bilden.

Ist auch bei den sechstheiligen Kreuzgewölben (vergl. Art. 236, S. 346) aus der Mitte des XII. Jahrhunderts eine Theilung des Gewölbfeldes durch Kreuzrippen mit durchlaufender Mittelrippe mehrfach, in Deutschland namentlich im rheinischen Uebergangsstil, vorgenommen; ist auch, wie z. B. beim Hauptgewölbe des Domes zu Limburg an der Lahn (Fig. 461 u. 462), aus dem Anfange des XIII. Jahrhunderts, diese Theilung unter Verwendung von Spitzbogen, ja selbst unter Einführung der seitlichen Absteifung durch Strebebogen zum Ausdruck gelangt — so ist dieses Wölbsystem im Allgemeinen doch wieder verlassen und für die Construction der gothischen Gewölbe nicht durchschlagend geworden.

Die Schmiegsamkeit der Spitzbogenform, welche einen zweckmäßigen, leicht zu schaffenden Zusammenhang der Höhenverhältnisse der danach gestalteten einzelnen Gurt-, Grat- oder Diagonalbogen unter einander ermöglichte, gleichgiltig, ob das Gewölbe über quadratischen, rechteckigen oder mehr oder weniger unregelmäßig geordneten Grundrissen ausgeführt werden sollte, war dazu angethan, die schwieriger in Einklang zu bringenden Halbkreisbogen, besonders in ihrer Anwendung als Rand- oder Stirnbogen, zu verdrängen. Unter Hinweis auf das in Art. 237 (S. 348) Gefagte möge nochmals betont werden, daß in der Herrichtung der selbständig nach der statisch günstigen Spitzbogenlinie gebildeten Rippenkörper und in der mit Bufung dazwischen eingewölbten Kappenstücke, welche dem Theile eines Kugelgewölbes entsprechen oder demselben ähnlich sind, besondere Merkmale der gothischen Gewölbe auftreten. Die

Fig. 462.



Rippenkörper gehören schmalen Streifen eines cylindrischen Gewölbes, bezw. eines Tonnengewölbes an, während die Kappenstücke im Allgemeinen sphärischen, bezw. sphäroidischen Gewölben zuzuweisen sind.

Im Folgenden sollen die Gestaltungen der gothischen Kreuzgewölbe eingehender besprochen werden.

1) Einfache gothische Kreuzgewölbe.

Für die Gestaltung und Darstellung eines einfachen gothischen Kreuzgewölbes möge zunächst ein solches über einem quadratischen und einem rechteckigen Grundrisse, unter Angabe der Bezeichnungen seiner Bestandtheile, Berücksichtigung finden. Die Grundrissfigur bildet das Gewölbefeld oder das Gewölbejoch. Die Diagonalen des Gewölbefeldes sind die wagrechten Projectionen der Diagonal- oder Kreuzbogen. Ueber den Seitenlinien des Gewölbefeldes erheben sich die Rand- oder Stirnbogen. Treten mehrere Gewölbefelder im Grundrisse zusammen, so werden die Randbogen, welche die einzelnen Joche von einander scheiden, auch Gurtbogen oder Scheidebogen genannt. Sind die Randbogen unterhalb ihrer Laibung durch volles Mauerwerk oder durch Mauerwerk mit besonders darin angelegten Oeffnungen geschlossen, so führen sie den Namen Schildbogen.

275.
Bezeichnungen.

Erhalten die erwähnten Bogen eine vor der eigentlichen Gewölbläche ausladende, einfach oder reich gegliederte Anordnung, so heißen sie allgemein Rippen. Man unterscheidet nach der Stellung derselben Kreuzrippen, Gurtrippen und Schildbogenrippen. Spannweite, Pfeilhöhe, Pfeilverhältniß, Scheitel, Schlussstein entsprechen auch hier den früher in Art. 122 (S. 142) gegebenen Erklärungen. Die zwischen dem als Skelett des ganzen Gewölbekörpers auftretenden Rippenysteme eingefügten Gewölbestücke heißen Gewölbekappen oder kurz Kappen. Sie finden ihr Widerlager an den Rippenkörpern. Das Pfeilverhältniß der Wöblinie einer Kappenficht kennzeichnet das Maß der Bofung oder des Bofens der Kappe.

Von Wichtigkeit für die Darstellung des einfachen gothischen Kreuzgewölbes ist die Ausmittlung der bezeichneten Bogen hinsichtlich der Höhenlage ihrer Scheitelpunkte zu einander in Bezug auf eine gemeinschaftliche Kämpferebene.

276.
Darstellung.

Hierbei sind vorzugsweise drei Fälle zu unterscheiden:

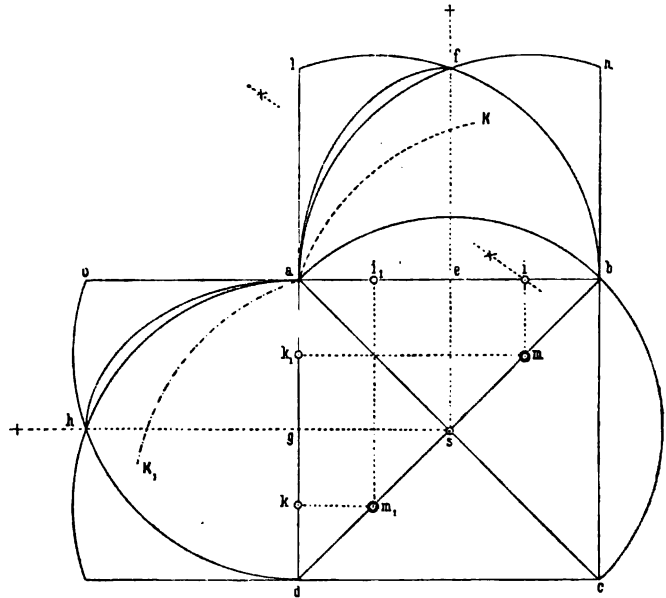
- a) die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen liegen sämmtlich in gleicher Höhe;
 - β) die Scheitel der Randbogen liegen tiefer, als der Scheitel der Kreuzbogen, und
 - γ) der Scheitel der Kreuzbogen liegt tiefer, als der Scheitel der Randbogen.
- Hierbei können im Besonderen auch die Scheitel der Randbogen noch in verschiedener Höhe liegen.

a) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen.

Als Ausgang für die Bestimmung der Form der Randbogen dient der Kreuz- oder Diagonalbogen. Derselbe bedingt in erster Linie die allgemeine Höhenlage des Scheitelpunktes des zu bildenden Kreuzgewölbes. Seine Bogenlinie ist ein Halbkreis oder ein Spitzbogen. Letzterer wird häufig und zweckmäßig als ein nur mäßig vom Halbkreis abweichender stumpfer Spitzbogen behandelt, dessen Pfeilhöhe demnach wenig mehr beträgt, als seine halbe Spannweite. Bei hoch anstrebenden Kreuzgewölben tritt statt dieses stumpfen Spitzbogens der mehr oder weniger steil geformte Spitzbogen als Kreuzbogen auf.

Ist in Fig. 463 das Quadrat $abcd$ der Grundriss des Gewölbefeldes und wird ein Diagonalbogen über ac , bezw. bd als Halbkreis mit dem Halbmesser sa gewählt, so ist hierdurch die Scheitelhöhe des Kreuzgewölbes über der wagrechten Kämpferebene gleichfalls in sa gegeben. Die ihr gleichen Höhen ef , bezw. gh sollen für die als Spitzbogen zu konstruierenden Randbogen afb , bezw. ahd beibehalten werden. Die Mittelpunkte der einzelnen Schenkel der Randbogen ergeben sich in bekannter Weise in i, i_1 , bezw. k, k_1 . Bemerkte sei, daß bei dieser Darstellung der Kreuz- und Randbogen die Halbmesser $ai = bi = ak = dk$ nach einer einfachen geometrischen Beziehung gleich $\frac{3}{4}$ der Seitenlänge ab des quadratischen Grundrisses sind. Die entstehende Bogenform ist nicht ungünstig. (Vergl. Art. 128, S. 155.)

Fig. 463.



Die zwischen den Schenkeln der Randbogen und den halben Diagonalbogen liegenden Kappen können ohne Weiteres reine Kugelflächen als Laibung erhalten.

Auf Grund der in Art. 237 (S. 349) gegebenen Entwicklungen ist m als Schnitt des Lothes im auf ab und des Lothes sm auf ac der Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappentheiles aes und der um m mit dem Halbmesser ma beschriebene Kreis K ein größter Kreis dieser Fläche. Eben so ist m_1 als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappentheiles ags mit dem größten Kreise K_1 zu bestimmen. Die nach gs , bezw. es genommenen lothrechten Kugelschnitte liefern sofort die als Kreisbogen vorhandenen Scheitellinien lf , bezw. oh , deren Mittelpunkte in i_1 , bezw. k_1 bereits beim Festlegen der Randbogen erhalten wurden.

Bei dieser Ausmittlung der Bestandtheile des hier behandelten Kreuzgewölbes zeigt sich ein inniger geometrischer Zusammenhang derselben unter einander. In constructiver Beziehung tritt eine Vereinigung der nach Art schmaler Tonnengewölbe herzurichtenden Kreuz- und Stirnrippen mit Kugelgewölbstücken der Kappen auf, wodurch zugleich die Bufung der Kappenflächen fest gelegt ist.

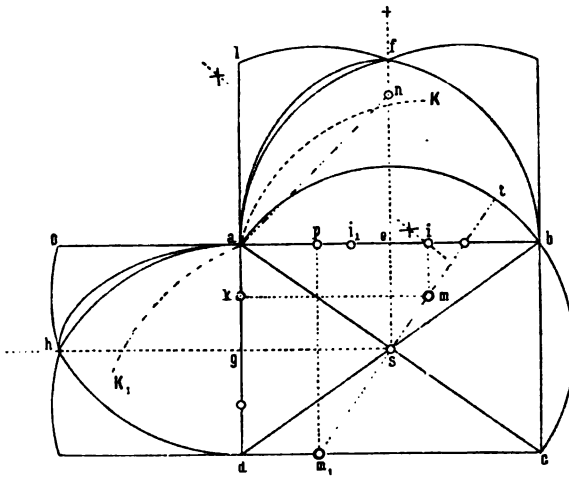
Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Bufung angenommen werden, so daß die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewisser Freiheit aufzustellenden Gesetze zu einer sphäroidischen Fläche auszubilden ist; oder soll unter Umständen bei der Einführung einer geraden Scheitellinie für die Kappen gar keine Bufung sich geltend machen — so entstehen hierdurch keine nennenswerthen Schwierigkeiten. Hiervon wird bei der Ausführung der Kappenmauerung gothischer Gewölbe noch näher die Rede sein. Immerhin erscheint aber die besprochene einfache Gestaltung der Kappenstücke nach Kugelflächen, welche in unmittelbarem und innigem Zusammenhange mit der Form des Gewölbgerippes stehen, als folgerichtig, auch in Rücksicht auf ihre Stabilitätsuntersuchung und Ausführung als zweckmäßig.

Würde für den Kreuzbogen statt des Halbkreises ein mehr oder weniger hoher Spitzbogen gewählt und alsdann seine Pfeilhöhe für die Scheitelhöhe der Randbogen zu Grunde gelegt, so erleiden die maßgebenden Entwicklungen hinsichtlich der Feststellung der Form dieser Randbogen und der Kugelflächen der Kappen keine Aenderung.

Bei dem Gewölbefelde mit rechteckigem Grundriss $abcd$ (Fig. 464) sei der Diagonalbogen über ac , bzw. bd wiederum ein Halbkreis mit dem Halbmesser sa .

278.
Rechteckiger
Grundriss.

Fig. 464.



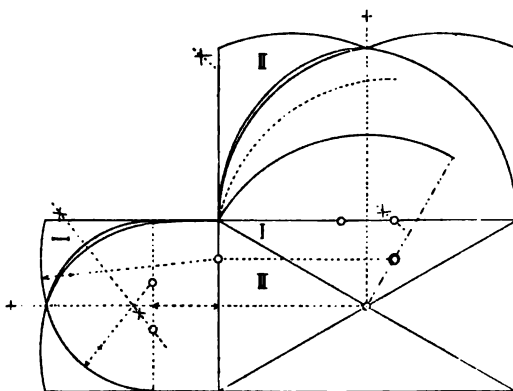
Hierdurch ist die Scheitelhöhe $st = sa$ bestimmt und danach die Höhe der Randbogen $ef = gh = st$ genommen.

Die Mittelpunkte des Randbogens afb der langen Seite des Rechteckes werden in i , bzw. i_1 gefunden; die Mittelpunkte für den Randbogen ahd liegen in den Endpunkten a , bzw. d der kleinen Seite des Rechteckes. Dieser Randbogen umschließt also ein gleichseitiges Dreieck.

Bei einem rechteckigen Grundriss tritt diese Lage der Mittelpunkte des Randbogens der kleinen Seite bei gleicher Höhenlage der

Scheitel von Rand- und Kreuzbogen stets ein, sobald letzterer ein Halbkreis ist und sobald zugleich die Länge der kleinen Seite ad des Rechteckes gleich der Hypotenuse an eines rechtwinkligen und gleichschenkligen Dreieckes genommen wird, dessen Katheten ea und en gleich der halben großen Rechteckseite ab sind. Bei diesen Abmessungen wird der Randbogen der großen Seite ein ziemlich stumpfer, aber sonst nicht ungünstig geformter Spitzbogen, während der Randbogen der kleinen Seite verhältnismäßig schlank gebildet erscheint. Würde die Seite ad kleiner als an werden, so würden die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens unter der Annahme der gleichen Scheitelhöhen für sämtliche Hauptbogen des Kreuzgewölbes nunmehr über a und d hinausfallen und somit einen sehr steil aufsteigenden Spitzbogen bedingen.

Fig. 465.



Das hier angegebene Verhältniß der Seitenlängen des Gewölbefeldes kann als ein Grenzmaß in so fern angesehen werden, als bei sehr schmalen, rechteckigen Gewölbefeldern zur Vermeidung eines sehr steilen Spitzbogens der kleinen Rechteckseite oft vorteilhafter ein stumpferer Randbogen, wie in Fig. 465 gewählt werden müßte, welcher zur Erzielung der vorgeschriebenen gleichen Höhenlage seines Scheitels mit den Scheitelpunkten des Kreuzbogens und des Randbogens der langen

Rechteckseite eine Stelzung zu erfahren hätte. Alsdann erhielten die Kappen *II* der schmalen Seiten bei der Beobachtung einer Bufung sphäroidische Laibungsflächen, während bei dem in Fig. 464 angenommenen Verhältnisse der Breite zur Länge des Gewölbefeldes sich für diese Kappen eben so wohl, als auch für die Kappen der langen Seite die Laibungen als Kugelflächen gestalten lassen. Ohne weitere Bedingungen zu stellen, ergeben sich die Mittelpunkte dieser Kugelflächen in *m* für die Kappe *ase* mit dem größten Kreise *K* und in *m*₁ für die Kappe *asg* mit dem größten Kreise *K*₁; auch sind hiernach in hinlänglich gekennzeichnete Weise die Scheitellinien über *se* und *sg* als die um *k*, bzw. *p* beschriebenen Kreisbogen *ho*, bzw. *fl* zu bestimmen.

β) Die Scheitel der Randbogen tiefer, als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen.

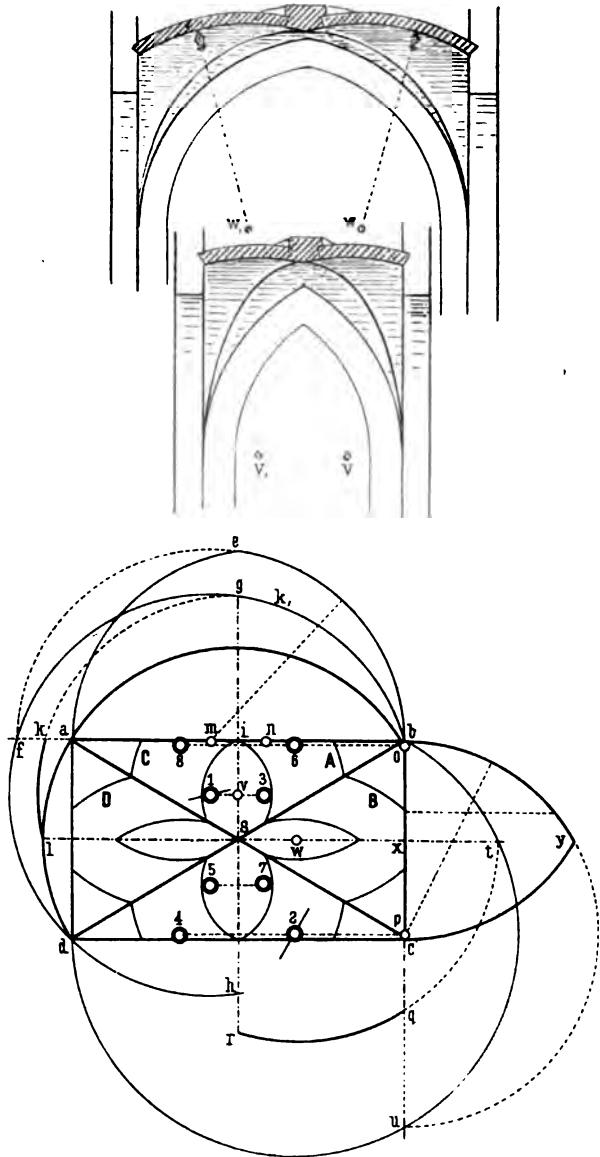
279.
Rechteckiger
Grundriß:
gleiche
Halbmesser.

Für das Austragen der Randbogen gelten nach Annahme der Form der Kreuzbogen dieselben Grundlagen, sowohl für quadratische, als auch für rechteckige Gewölbefelder.

Um zwischen den Diagonal- und Randbogen einen einfachen Zusammenhang zu erhalten, sind bei vielen Kreuzgewölben des gothischen Baustils die sämtlichen Bogen der Rippen mit gleichem Halbmesser geschlagen. Die hierdurch bedingten Gewölbanordnungen sollen für ein rechteckiges Gewölbefeld *abcd* nach Fig. 466 getroffen werden.

Die kleine Seite *bc* des Rechteckes sei noch etwas größer, als die Hälfte *bs* einer Diagonale *bd*. Der Diagonalbogen sei der Halbkreis *dab*, so daß *sb* = *sd* der für die Gestaltung der Randbogen bestimmende Halbmesser wird. Trägt man *bm* = *an* = *sb* auf der langen Seite *ab* von den Ecken *b* und *a* aus ab, so sind *m* und *n* die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens *bea*. Bestimmt man in gleicher Weise die Punkte *p* und *o* auf der kleinen Seite *bc* durch *bp* = *co* = *sb*, so sind diese Punkte Mittelpunkte des kleinen Randbogens *byc*. Beide Randbogen werden Spitzbogen mit den

Fig. 466.



Höhen ie , bezw. xy über der Kämpferebene. Diese Höhen sind unter sich verschieden und stets kleiner als die Scheitelhöhe des Kreuzbogens.

Giebt man den Kappen reine Kugelflächen zur Laibung, welche unmittelbar von den fest gelegten Kreuz- und Randbogen in Abhängigkeit gesetzt werden, so ist der Punkt 1 als Schnitt der nicht weiter gezeichneten Lothe in s auf bs und in m auf ab der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück über isb . Der größte Kreis derselben enthält in der Kämpferebene die Punkte b, g, f, d, h . Eben so ist der Punkt 2 als Schnitt von Lothen in s auf bs und in p auf bd als Mittelpunkt der Kugelfläche für den Kappentheil über ksb zu ermitteln. Der größte Kreis dieser Fläche besitzt in der Kämpferebene die Punkte b, t, u, d . In entsprechender Weise wird 3 als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück isa , 4 als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück lsa gefunden, so daß hiernach auch leicht die Punkte $5, 6, 7$ und 8 als Mittelpunkte der übrigen Kugelflächen anzugeben sind. Weiter ergibt sich unter Benutzung der Mittelpunkte der einzelnen Kugelflächen in v der Mittelpunkt für den Kreisbogen kl der Scheitellinie über is mit dem Halbmesser vg , so wie in w der Mittelpunkt des Kreisbogens qr der Scheitellinie über xs mit dem Halbmesser wt . Nach diesen Ausmittlungen sind Längen- und Querschnitt des Gewölbkörpers leicht darzustellen.

Führt man durch das Gewölbe wagrechte Schnitte, so entstehen auf den Laibungsflächen der Kappen Kreisbogen als Schnittlinien, deren wagrechte Projectionen wie in A aus 1 , in B aus 2 , in C aus 3 , in D aus 4 u. s. f. zu beschreiben sind. Diese Schnittlinien kennzeichnen die vorspringende Eckbildung der Kappen am Diagonalbogen.

Wird die kleine Seite des rechteckigen Gewölbefeldes gleich der Länge bs , so wird der Randbogen ein Spitzbogen, dessen Mittelpunkte mit den Eckpunkten b und d zusammenfallen. Ist die Länge der kleinen Seite geringer als die Länge der halben Diagonale bd , so treffen die Mittelpunkte des Randbogens in der Verlängerung von bc über die Eckpunkte b und c hinaus.

In Folge hiervon entsteht ein steiler, lanzettförmiger Spitzbogen für die Seite bc . In Rücksicht auf den weniger schlanken Spitzbogen der langen Seite und unter Beachtung der Form des Abchlussbogens einer Oeffnung, welche in einer etwa anzulegenden Stirnmauer bc angebracht werden sollte, kann aber ein derart steil aufsteigender Randbogen nicht immer als günstig erscheinen. Bei der Anwendung gleicher Halbmesser für Kreuz- und Randbogen bei quadratischem Gewölbefelde tritt die Verschiedenheit der Randbogen nicht ein. Dieselben haben wohl eine tiefere Scheitellage, als der Kreuzbogen, aber sonst unter sich gleiche Scheitelhöhen. Letzteres ist bei einem rechteckigen Gewölbefelde nicht der Fall. Der Randbogen der kleinen Seite erhält dabei stets eine geringere Höhe, als der Randbogen der großen Seite.

Das eigentliche Wesen der Gestaltung der Randbogen erleidet keine Aenderung, wenn für den Kreuzbogen an die Stelle eines Halbkreises ein Spitzbogen tritt, dessen Halbmesser für die Bildung der Randbogen als gegebene Größe benutzt wird.

Die Annahme gleicher Halbmesser für die Bogenform des Rippen-systemes bietet den Vortheil eines gleichartig gebildeten Auslaufes der Bogenansätze von ihrem gemeinschaftlichen Stützpunkte an den Ecken des Gewölbefeldes. Die Ausführung der Gewölbanfänge wird hierbei erleichtert; auch wird bei profilirten Rippenkörpern ein regelmäßiges Loslösen der einzelnen Gliederungen am Anfänger ermöglicht. Die unmittelbare Abhängigkeit der Scheitelhöhen der einzelnen Bogen von dem einmal fest gesetzten Halbmesser kann jedoch ab und an für eine besonders geplante Gewölbanordnung störend wirken. So kann die Forderung gestellt werden, den Randbogen des rechteckigen Gewölbefeldes gleiche Scheitelhöhen zu geben und dennoch die Ansätze der Kreuz- und Randbogen mit gleichem Halbmesser zu schlagen. Um dieser Bedingung zu genügen, kann nach Fig. 468 beim Innehalten des bestimmten Halbmessers ac der Randbogen A der großen Seite durch einen Randbogen B ersetzt werden, dessen Mittelpunkt b auf der gehörig verlängerten Geraden ca so tief unter der Kämpferlinie angenommen wird, bis die gewünschte Scheitelhöhe des Randbogens B , entsprechend der Scheitelhöhe des Randbogens der kleinen Seite, über der Kämpferebene erzielt ist. Hierdurch entsteht der schon in Art. 128 (S. 157) erwähnte gedrückte Spitzbogen. Ist die Verschiebung ab der Mittelpunkte für A und B nicht erheblich, so ist ein derart geformter Spitzbogen, obgleich durch seine

Verbindung mit dem anstossenden Kreuzbogen und dem Randbogen der kleinen Rechteckfeite nicht vollständig regelmässig zu bildende Gewölbanfänger entstehen, sehr wohl zu benutzen.

Bei diesem gedrückten Spitzbogen steht die Tangente im Kämpferpunkte nicht senkrecht zur Kämpferebene. Mit der lothrechten Begrenzungslinie des stützenden Widerlagers ergibt sich im Ansatzpunkte des Spitzbogens ein stumpfer Winkel oder ein Knick. Aus diesem Grunde führt ein solcher Bogen auch die Bezeichnung Knickbogen.

Soll ein Knickbogen vermieden werden, so kann, wenn bei der Forderung der Einschränkung der Scheithöhe des grossen Randbogens noch die Bedingung der Benutzung gleich grosser Halbmesser für die Ansätze der Kreuz- und Randbogen gestellt werden soll, ein aus zwei symmetrischen Korbbogen zusammengesetzter Spitzbogen in Anwendung kommen.

In Fig. 467 ist ein derartiger Spitzbogen gegeben. Der Ansatzbogen *A* ist mit gegebenem Halbmesser um den in der Kämpferebene liegenden Mittelpunkt *a* beschrieben. Durch *a* ist ein sonst beliebiger, hier unter einer Neigung von 45 Grad zur Wagrechten angenommener Strahl gezogen, welcher im Schnitte mit dem Bogen *A* den Endpunkt dieses Bogens bestimmt. Auf diesem Strahle wird der Punkt *b* als Mittelpunkt des mit *A* vereinigten Kreisbogens *B* so ermittelt, dass dieser Bogen durch den festen Scheitelpunkt des Randbogens geht.

Bei dem starren Innehalten eines gleichen Halbmessers, sei es für die ganzen Kreuz- und Randbogen, sei es nur für die Anfänge derselben, wird namentlich bei verhältnissmässig schmalen rechteckigen Gewölbfeldern die Gestaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmonische Zusammenwirken der einzelnen Bestandtheile verwischt. Weit wichtiger, als das Anklammern an einzelne Constructionsregeln, sind hier das richtige Abwägen der Höhen der Scheitel zu einander und die massvolle Bildung von Bogenformen, welche, unter sich in Vergleich gebracht, keine zu grosse Abweichung in dem Schwunge ihrer Linien aufweisen. Hierbei kann, als Gruppen angesehen, je für sich entweder die stumpfere oder die schlankere, steilere Bogenform vorherrschend werden. In den meisten Fällen reicht hierfür der gewöhnliche Spitzbogen aus.

Bei der Schmiegsamkeit seiner Form kann derselbe sowohl in ästhetischer, als auch in statischer Beziehung mit Leichtigkeit den gewünschten oder vorgeschriebenen Verhältnissen angepasst werden. In besonderen Fällen ist der eigentliche Spitzbogen durch eine Stelzung in zweckmässige Höhenlagen mit feinem Scheitel zu bringen.

Sehr oft und voll berechtigt werden die Randbogen, wenn sie als Schildbogen dienen, nach einem Spitzbogen um *m* (Fig. 469) geformt, welcher der Bogenlinie

Fig. 467.

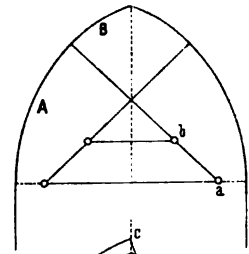


Fig. 468.

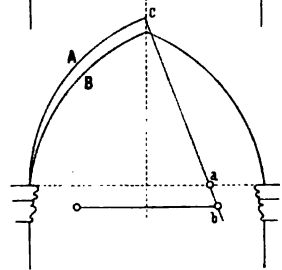
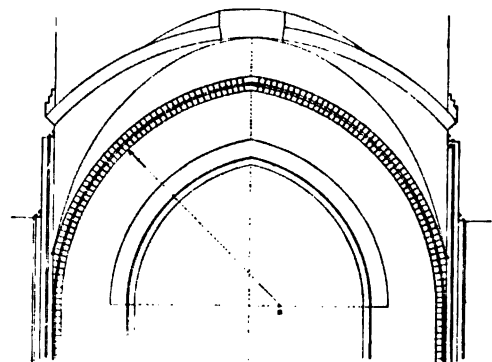


Fig. 469.



des oberen Abschlusses der in der Schildmauer angelegten größeren Licht- oder Thüröffnung concentrisch ist. Liegt der Kämpfer der Oeffnung höher als der Kämpfer des Schildbogens, so erfährt dieser Bogen eine Stelzung.

γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer, als die Scheitel der Randbogen gelegen.

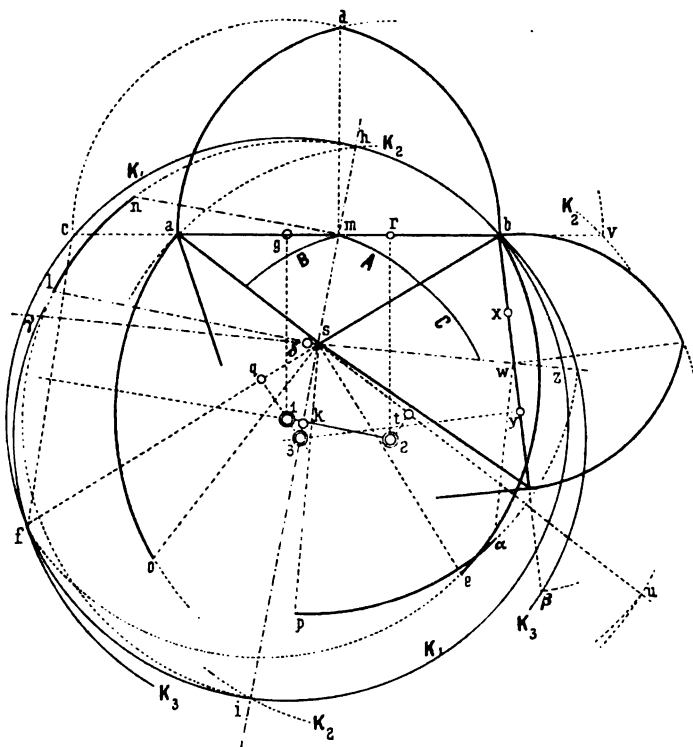
Bedingen bauliche Verhältnisse bei der Anordnung der Kreuzgewölbe für den eigentlichen Gewölbefcheitel eine tiefere Lage, als den Scheitelpunkten eines oder mehrerer Randbogen zugewiesen werden muß, so kann die Gestaltung der einzelnen Randbogen unter Beachtung der in den Fällen α und β gegebenen Erörterungen auch hier ohne Schwierigkeit vorgenommen werden. Meistens geht man hierbei wieder von einem gewählten Kreuzbogen aus. Sind die Höhen der Randbogen einmal fest gestellt, so ist hiernach eine schickliche Form des Kreuzbogens zu nehmen, damit ein gut geordnetes, in seinen Linien nicht in schreiendem Widerspruch stehendes Bogen- und Kappen-system dargestellt werden kann. Umgekehrt kann man bei dieser Entwicklung auch von der Form des höchsten oder irgend eines anderen Randbogens ausgehen und danach die Kreuzbogen, so wie die übrigen Randbogen fest legen. Der Spitzbogen, an sich oder gestelzt, liefert dabei wiederum ein wesentliches Hilfsmittel.

280.
Verschieden-
heit.

Ist ein einfaches gothisches Kreuzgewölbe über einem unregelmäßigen Gewölbefelde herzurichten, so ist die wagrechte Projection des Gewölbefcheitels zweckmäßig der Schwerpunkt der Grundrissfigur. Läßt sich durch die Ecken einer vier- oder mehrseitigen, völlig unregelmäßigen Grundrissfigur ein Kreis legen, so kann auch

281.
Unregel-
mäßiges
Gewölbefeld.

Fig. 470.



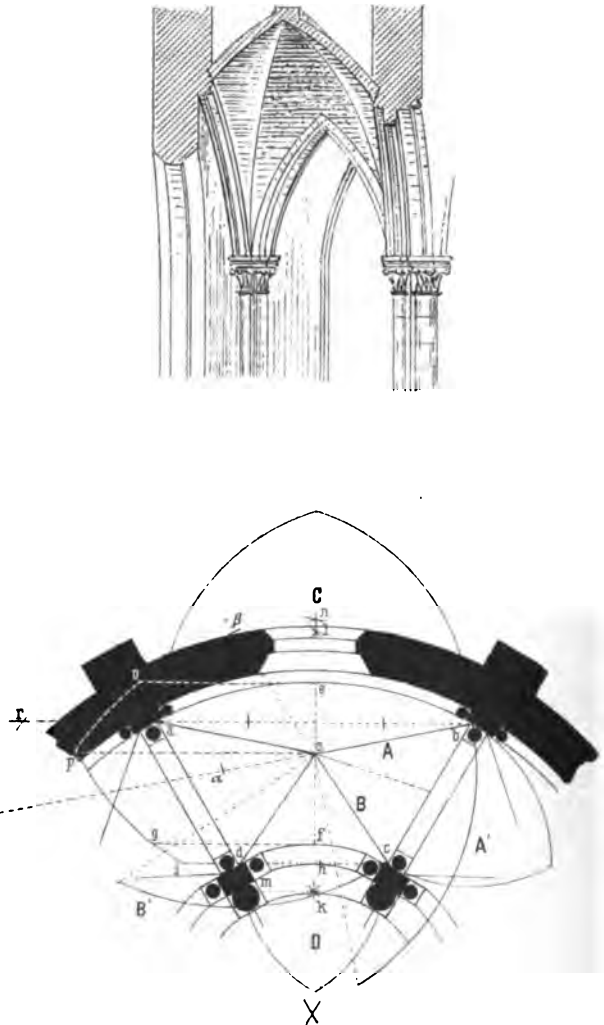
der Kreismittelpunkt, wenn derselbe nicht zu weit vom Schwerpunkte der Fläche entfernt liegt, als Grundrissprojection des Gewölbefcheitels angenommen werden. Die wagrechten Projectionen der Gratbogen, welche jetzt die Stelle der Kreuzbogen über regelmäßigen Gewölbefeldern vertreten, sind gerade Linien, welche von der Grundrissprojection des Gewölbefcheitels nach den Ecken des Gewölbefeldes gezogen werden. Das Austragen der Grat- und Randbogen erfolgt in ihren wesentlichen Grundlagen eben so, wie bei den einfachen Gewölben über

rechteckigen Gewölbefeldern. Das Nähere hierfür soll durch Fig. 470 angegeben werden.

Dieselbe kennzeichnet einen Theil eines unregelmäßigen Gewölbefeldes mit den Ecken a, b und der Grundrissprojection s des Gewölbscheitels. Danach sind sa und sb die wagrechten Projectionen von Gratlinien, welche die Gewölbkappe asb mit dem Randbogen über ab begrenzen. Die wagrechten Projectionen der Scheitellinien der Kappen gehen von s nach den Mitten der Seitenlinien. Die Geraden sm , bezw. sw entsprechen dieser Lage. Der Gratbogen über bs sei der Kreisbogen bc , dessen Mittelpunkt in q auf der Verlängerung von bs angenommen wurde. Hierdurch ist die Höhe se des Gewölbscheitels über der Kämpferebene fest gelegt. Die Randbogen mögen hier eine geringere Scheitelhöhe erhalten. Nach Annahme der Höhe md des Randbogens adb sind g und r als Mittelpunkte der Bogenschenkel bd und ad ermittelt. Auf ganz ähnlichem Wege ist der zweite, in b antretende Randbogen mit den Mittelpunkten x und y zu gestalten. Der Gratbogen über as muß die Höhe so gleich se besitzen. Hiernach ist derselbe als Kreisbogen ao mit dem Mittelpunkte in t , welcher auf der Verlängerung von as liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenstücke A, B, C u. f. w. in ihren Laibungen Kugelflächen angehören, welche von den angrenzenden Grat- und Randbogen sofort abhängig gemacht werden, so werden in der genügend beschriebenen und aus der Zeichnung noch weiter zu erfahrenden Weise der Punkt t als Mittelpunkt der Kugelfläche A mit dem größten Kreise K_1 , der Punkt x als Mittelpunkt der Kugelfläche B mit dem größten Kreise K_2 und der Punkt y als Mittelpunkt der Kugelfläche C mit dem größten Kreise K_3 gefunden. Unter Benutzung dieser größten Kreise erhält man die Form der Scheitellinie über ms als Schnittlinie der beiden Kugelflächen K_1 und K_2 in dem Kreisbogen nl . Derselbe ist ein Stück vom Kugelkreise hgi , dessen Mittelpunkt k offenbar Halbirungspunkt der Geraden hi der Schnittpunkte h und i der größten Kreise K_1 und K_2 , oder auch einfach der Fußpunkt des von t , bezw. auch von x auf die verlängerte Gerade ms gefällten Lothes sein muß. Beide Beziehungen sind in der Zeichnung zu erkennen. Um den Bogen nl der Scheitellinie über ms austragen zu können, hätte man also entweder nur den größten Kreis K_1 oder nur den größten Kreis K_2 nöthig gehabt. Zur Bestimmung der Scheitellinie ap über ws , welche der Kappe C angehört, genügt demnach auch der größte Kreis K_3 der Kugelfläche C allein. Das vom Mittelpunkt y desselben auf die Verlängerung von ws gefällte Loth giebt den Fußpunkt δ . Der Schnitt z der erweiterten Geraden sw mit dem Kreise K_3 liefert mit δ in δz den Halbmesser des um δ beschriebenen Kreisbogens ap jener Scheitellinie.

Das angegebene Verfahren ist für alle Kappen des unregelmäßigen Gewölbefeldes weiter anzuwenden. Ein wagrechter Schnitt durch das Gewölbe würde Kreisbogen auf den Laibungsflächen ergeben, welche in ihrer Grundrissprojection als A um t , als B um x , als C um y u. f. w. zu beschreiben wären.

Fig. 471.



Ist der Grundriß des Gewölbefeldes ein Ringstück $abcd$ (Fig. 471), so können die erörterten grundlegenden Handhabungen für die Ausmittlung der Grat- und Randbogen, bezw. der Kugelflächen der Kappen ebenfalls Platz greifen. In der Darstellung ist s der Schwerpunkt der Grundrißfläche; die von s nach den Ecken derselben gezogenen geraden Linien sind die wagrechten Projectionen der Gratabogen.

282.
Ringförmiges
Gewölbefeld.

Ist die Scheithöhe des Gewölbes fest gestellt, so werden derselben entsprechend die Gratabogen wie A_1 für A aus α , B_1 für B aus β u. f. f. als Kreisbogen geschlagen. Für die Kappenflächen aeb und cfd ist die Gestaltung mit Hilfe von ideellen Randbogen C über der Sehne ab des Kreisbogens aeb , bezw. D über der Sehne cd des Kreisbogens cfd leicht vorzunehmen. Je nach der Höhe, welche man für diese Bogen im Allgemeinen verschieden groß annehmen kann, im Besonderen aber in jedem vorliegenden Falle den baulichen Verhältnissen entsprechend wählt, entstehen mehr stumpfe oder mehr schlanke Spitzbogen als Hilfsbogen. Die Randbogen der geraden Seiten ad und bc sind ohne Weiteres in schicklicher Form auszutragen. Unter Benutzung des Hilfsbogens über ab und des Gratabogens über A ist m als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenstückes über ebs mit dem durch b, u, r, q gehenden größten Kreise in der früher angegebenen Weise gefunden und hierauf die Scheitellinie op über es als Kreisbogen mit dem Halbmesser kn geschlagen. Für das Kappenstück über cfs wird β der Kugelmittelpunkt und der um l mit lp beschriebene Kreisbogen pg die lothrechte Projection der Scheitellinie über fs . Führt man den Kreisbogen über g bis i auf dem Lothe hi zu sk fort, so muß hi genau der Höhe des ideellen Randbogens über cd entsprechen. Die nach ab , bezw. cd vorhandenen cylindrischen Begrenzungsflächen durchschneiden die antretenden Kugelflächen der Kappen nach krummen Linien, deren lothrechte Projectionen, da die Kugelflächen vollständig bestimmt sind, äußerst einfach ermittelt werden können. Sollen statt der einfachen Gratkörper bei einem solchen Gewölbe Gratrippen und eben so an den übrigen, gekrümmten oder geraden Seiten des Gewölbefeldes Gurtrippen, bezw. Schildbogenrippen angeordnet werden, so ist die weitere Durchbildung derselben nach den in der Zeichnung vorgenommenen Ausmittlungen der Curve, welcher ein Rippenkörper zu folgen hat, ohne Schwierigkeit zu bewirken.

2) Mehrtheilige gothische Kreuzgewölbe.

(Stern- und Netzgewölbe.)

Zerlegt man die Gewölbekappen eines ursprünglich einfachen gothischen Kreuzgewölbes, welches nur mit Kreuz- und Randbogen, bezw. Rippen auftritt, weiter durch besonders geordnete und selbständig gebildete Zwischenbogen, bezw. Zwischenrippen, so entsteht das mehrtheilige gothische Kreuzgewölbe. Schon das in Art. 236 (S. 346) erwähnte sog. sechstheilige Kreuzgewölbe erscheint als ein mehrtheiliges Gewölbe. Die weitere Theilung der bei solchen Anlagen vorweg noch nicht durch eine Mittelrippe zerlegten beiden größeren Kappen führt beim Einfügen einer solchen Rippe zu einem achtheiligen Gewölbe. Die bei diesen Gewölbearten eingeführten Zerlegungen der Kappen kommen verschiedentlich bei Bauwerken des XII. und XIII. Jahrhunderts vor; sie haben aber eine allgemeine Anwendung im Sinne eines eigentlichen Systemes bei den Gewölben der gothischen Baukunst nicht gefunden. Bei diesen geht das Zerlegen der Kappen wesentlich durch Zwischenrippen vor, welche, von den stützenden Eckpunkten des Gewölbes aus geführt, eine Theilung der Kappen zwischen Rand- und Kreuzbogen in kleinere, weniger weit gespannte Gewölbstücke bewirken. Diese Zwischenrippen oder Nebenrippen (Liernen) sind wiederum tragende Bestandtheile des Gewölbes. Außerdem tritt zur weiteren Ausbildung des Rippen-systemes häufig eine Verbindung des Scheitels der einzelnen, für sich zusammengeführten Zwischenrippen mit dem Scheitel der Hauptrippen (Kreuz-, bezw. Gurt- oder Schildbogenrippen) durch Scheitel- oder Firtrippen ein. Diese bezwecken eine weitere Verspannung des Rippenwerkes unter sich. Je sorgfältiger ein maßvolles, geregeltes und von Willkür freies Einfügen von Rippenkörpern stattfindet, um so wohlthuernder und gediegener wirkt die Anlage des mehrtheiligen Kreuzgewölbes.

283.
Grundgedanke.

Durch derartige Gestaltungen entstehen die Stern- und Netzgewölbe, deren Körper oft ein sehr reich entwickeltes Rippenwerk als Gliederung erhalten. Ihre Benennung ist in Rücksicht auf das geometrische Muster entstanden, welches durch das Zusammenfügen des Rippen-systemes entspringt. So lange der Grundsatz befolgt wird, eine edle und schöne Formgestaltung dieser Gewölbe mit den für dieselben geltenden statischen Gesetzen, welche vorschreiben, daß das gesammte Rippen-system sowohl in sich selbst schon mit seinen Stützpunkten, als auch mit den dazwischen liegenden Kappen in stabilem Gleichgewichtszustande befindlich sein soll, in Einklang zu bringen, bleibt auch das eigentliche Wesen des gothischen Kreuzgewölbes, wonach jeder Bauteil desselben den jedesmal vorgeschriebenen Bedingungen streng entsprechend auszubilden ist, gewahrt. Starren Handwerksregeln darf hierbei ein größeres Gefolge nicht eingeräumt werden, vielmehr hat ein geregeltes künstlerisches Schaffen stets die Oberhand zu behalten. Als eine Unterstützung für eine in diesem Sinne zu bewirkende Gestaltung der mehrtheiligen Kreuzgewölbe sollen im Folgenden einige Entwicklungen gegeben werden, welche für die Grund- und Aufrißbildung derartiger Gewölbe Anhaltspunkte bieten können.

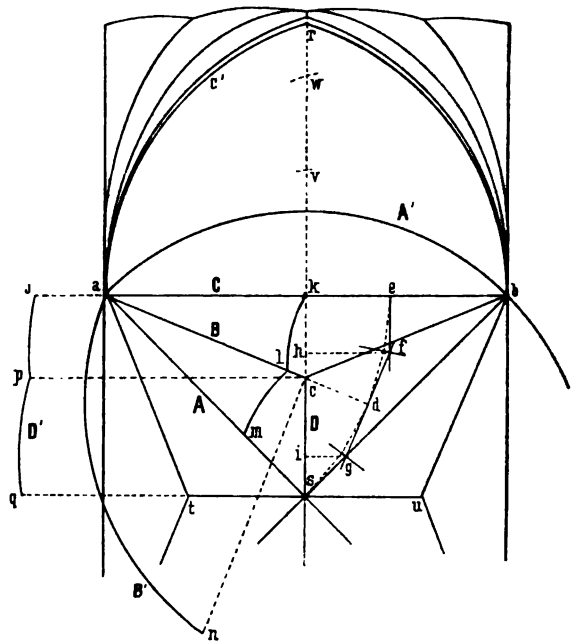
284.
Einfaches
Stern-
gewölbe:
quadratischer
Grundriß.

Ist die Grundrißfigur des Gewölbefeldes ein Quadrat, so können alle Bogen der Gewölberippen als Kreisbogen mit gleichem Halbmesser beschrieben werden. Derjenige Bogen, dessen Halbmesser als maßgebend für alle übrigen Bogen angenommen wird, führt den Namen Principalbogen. Meistens wird hierfür ein Bogen, welchem der größte Halbmesser zukommt, gewählt, wie auch sonst die Form dieses Bogens, ob Halbkreis, ob Spitzbogen oder Flachbogen, beschaffen sein mag.

Bei dem quadratischen Gewölbefelde in Fig. 472 ist die Hälfte A_1 des Diagonalbogens als Principalbogen genommen. Derselbe ist hier ein Viertelkreis ab mit dem Halbmesser sa , also der ganze Kreuzbogen ein Halbkreis mit s als Mittelpunkt. Die geraden Linien ac , at , bc , bt u. f. f. sind die wagrechten Projectionen der Zwischenrippen. Die Punkte c oder t , u , über welchen die Scheitel der einzeln unter sich zusammentretenden Zwischenrippen liegen, sind hier als im Schnitt der Halbirungsstrahlen ac , bzw. bc u. f. f. der Winkel bas , bzw. abs u. f. f. befindlich, angenommen, können aber auch als Schwerpunkte der Dreiecksflächen asb u. f. f., welche zwischen den Kreuz- und Randbogen im Grundriße entstehen, bestimmt werden. Die Geraden sc oder st , su u. f. f. geben die Lage der Scheitelrippen an.

Beschreibt man um a mit dem Halbmesser as des Principalsbogens A_1 einen Kreisbogen se , so erhält man im Schnitte d desselben mit der verlängerten Geraden ac den Mittelpunkt für den Kreisbogen B_1 .

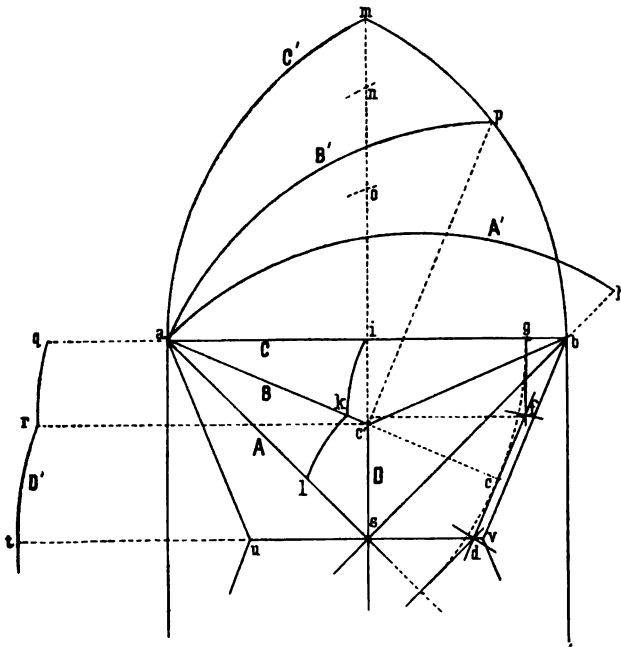
Fig. 472.



der Zwischenrippe über B mit dem Halbmesser $da = sa$ und in cn die Höhe des Scheitels der Rippen ac und bc über der wagrechten Kämpferebene, während in dem Schnitte e des Kreisbogens se mit der Seite ab des Quadrates der Mittelpunkt des Schenkels C_1 des Spitzbogens über ab gefunden wird. Für das Austragen der Scheitelrippe über cs hat man zu beachten, daß vermöge des gemeinschaftlichen in der Kämpferebene liegenden Ausgangspunktes a die für A und B vorhandenen Kreisbogen A_1 und B_1 , deren Mittelpunkte s und d gleichfalls der Kämpferebene angehören, die Kappenfläche über acs als reine Kugelfläche gestaltet werden kann. Der Mittelpunkt g dieser Kugelfläche ist der Schnitt der in s auf as und in d auf ad errichteten Lothe. Der mit ga um g beschriebene größte Kreis schneidet die Verlängerung der Grundrißprojection cs der Scheitelrippe im Punkte v . Der Fußpunkt i des von g auf sv gefällten Lothes gi wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen D_1 der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmesser ist gleich iv .

Die Scheitellinie op über kc ist ein Kreisbogen, welcher, um h mit dem Halbmesser hw beschrieben, einer Kugelfläche zwischen den Kreisbogen B_1 und C_1 zugewiesen wird. Der Mittelpunkt f dieser zweiten Kugelfläche ist der Schnitt der Lothe in d zu ad und in e zu ab ; ihr Halbmesser ist fa , und ihr in der Kämpferebene vorhandener größter Kreis schneidet die Verlängerung von kc in w . Sollte statt der einfachen Scheitellinie op eine Scheitelrippe eingesetzt werden, so bestimmt der Bogen op die Gestaltung derselben. Nach dem Austragen der einzelnen Rippenbogen ist der Aufriss oder, wie in der Zeichnung geschehen, der senkrecht in der Richtung tu genommene Schnitt des Gewölbes ohne Weiteres darzustellen.

Fig. 473.



Ein wagrecht gelegter Schnitt ergibt z. B. Kreisbogen ml , beschrieben um g und lk , beschrieben um f auf den zugehörigen Laibungsflächen der Kappen.

Ist (Fig. 473) der Principalbogen über as der Schenkel A_1 eines Spitzbogens mit dem Halbmesser ga , so bleibt der einzuschlagende Weg für das Austragen der sämtlichen Kreuz-, Zwischen-, Stirn- und Scheitelrippen unter Anwendung dieses festen Halbmessers, so wie für die Ausmittlung der Kugelflächen der Kappen derselbe, wie vorhin. Aus der Zeichnung ist das Nähere sofort ersichtlich.

Auch bei einem rechteckigen Gewölbefelde kann unter Beibehaltung desselben Halbmessers nach derselben Grund-

lage die Bestimmung der Form der Rippen und Kappen erfolgen.

Eine solche Darstellung giebt Fig. 474 mit dem Principalbogen C über einer halben Diagonale rs , dessen Halbmesser gleich der Länge der kleinen Seite ra des rechteckigen Gewölbefeldes genommen ist.

Zur weiteren Erklärung der Zeichnung diene, daß die Mittelpunkte der Bogen A, B, C, D und E durch Schlagen eines Kreises um r mit dem Halbmesser ra in a, b, c, d, e gefunden sind, daß der Reihe nach $1, 2, 3, 4$ die Mittelpunkte der Kugelflächen für die Kappenstücke $1_1, 2_1, 3_1, 4_1$ mit den zugehörigen größten Kreisen k_1, k_2, k_3, k_4 werden und daß endlich auf Grund der Bestimmtheit dieser Kugelflächen die Mittelpunkte der Scheitelpunkte F, G, H, I leicht in f_1, g_1, h_1, i_1 ermittelt werden können. Würde bei einer vorgeschriebenen Stärke der Kappe 1_1 , welche durch den um 1 concentrisch k_1 geschlagenen Kreisbogen q angegeben ist, die Einwölbung nach concentrischen Ringschichten vorgenommen, so würde om die Grundrißprojection einer solchen Wölbung bedingen. Der Aufriss, so wie das nach der Rich-

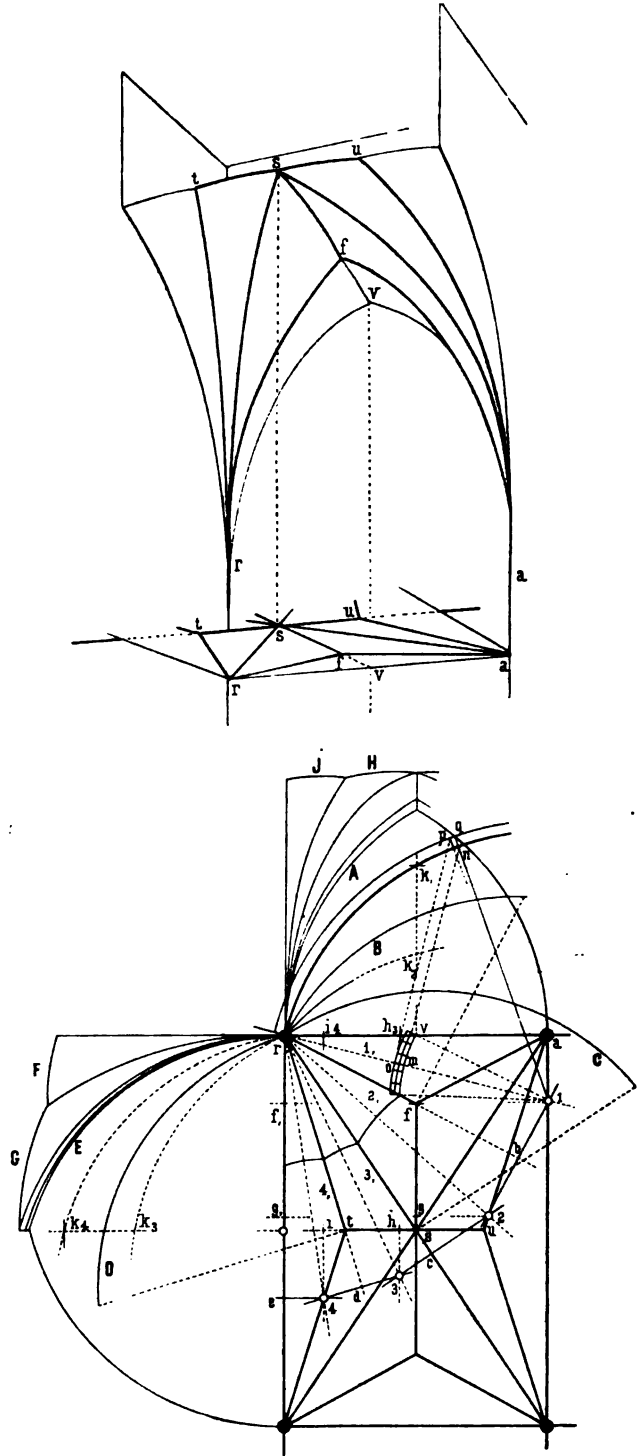
285.
Rechteckiger
Grundriß.

tung // gegebene Bild vom halben Gewölbe dienen zur Verdeutlichung der Gewölbgestaltung.

Der Umstand, daß bei der Anwendung eines und desselben Halbmessers für sämtliche Kreuz-, Rand- und Zwischenbogen die Scheitelhöhe und die Form der Randbogen der kleinen Seite eines rechteckigen Gewölbefeldes in Rücksicht auf den großen Randbogen oder in Bezug auf die Höhen und Formen der übrigen Bogen in der einen oder der anderen Weise nicht günstig werden, giebt oft Veranlassung, die Gestaltung solcher Gewölbe nach festem Halbmesser aufzugeben, vorausgesetzt, daß man zur Erzielung einer bestimmten Höhe für die kleineren Randbogen nicht etwa die in Art. 279 (S. 408) erwähnten Knickbogen oder gestelzte Bogen anwenden will. Ähnliche Verhältnisse könnten sich selbst bei Zwischenrippen in der an der kleinen Rechteckseite liegenden Hauptkappe geltend machen, so daß auch für diese Rippen eine Abänderung des festen Halbmessers rätlich sein würde.

Fig. 475 soll hierüber Aufschluß geben. Der Principalbogen *A* des hier verhältnismäßig schmalen rechteckigen Gewölbefeldes gehört der Hälfte eines spitzbogigen Diagonalbogens an. Sein Mittelpunkt ist *a*, also sein Halbmesser gleich *ao*. Würde man diesen Halbmesser in *do = ao* für den Randbogen der kleinen Seite beibehalten, so entstände hier ein reichlich steiler Spitzbogen mit Bogenschenkeln *D*. Wollte man die Höhe dieses Bogens verringern und etwa gleich *tq* nehmen, so ist der mit dem Halbmesser

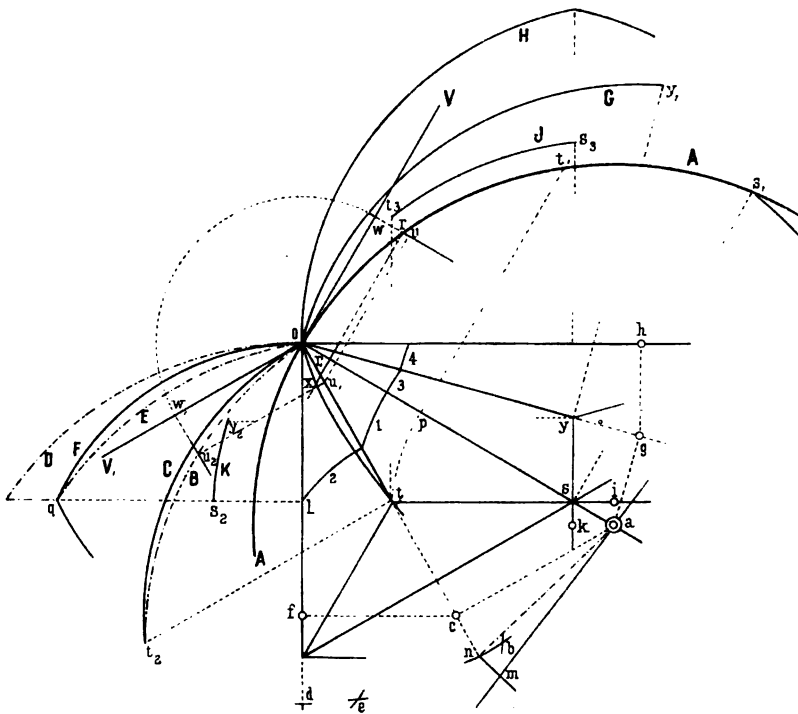
Fig. 474.



$do = ao$ aus o und q bestimmte Kreuzriß e der Mittelpunkt des Knickbogens E . Zur Vermeidung dieses Knickbogens, aber zur Erzielung lothrechter Ansätze sämtlicher Bogen in ihren Anfängen und endlich zur Einführung von Scheitelhöhen für die Rand- und Zwischenbogen, welche unter sich in geregelte Beziehung gebracht sind, kann man sich des Principalbogens A , ohne gleiche Halbmesser für die Rippenbogen zu benutzen, in der folgenden Weise bedienen.

Sind die wagrechten Projectionen y und t der Scheitelpunkte der Zwischenbogen fest gelegt, hier in y auf dem Halbierungsstrahle des Winkels hos , in t dagegen als Schwerpunkt der Dreiecksfläche zwischen der kleinen Rechteckseite und den angrenzenden beiden Grundrisslinien der Kreuzbogen, so fälle man vom Mittel-

Fig. 475.



punkte a des Principalbogens A im Grundrisse das Loth ag auf die Verlängerung von oy , ferner von g das Loth gh auf die große Rechteckseite; eben so das Loth ac auf die Verlängerung von ot und das Loth cf auf die kleine Rechteckseite. Betrachtet man die Fußpunkte g, h, c, f dieser Lothe als Mittelpunkte der zugehörigen Bogen G, H, C, F , wofür die Halbmesser sich sofort

als go, ho, co, fo ergeben, so gelangt man zu Bogenformen, welche auch hinsichtlich ihrer Scheitelhöhen in den meisten Fällen in einem schicklichen Verhältnisse zu einander stehen.

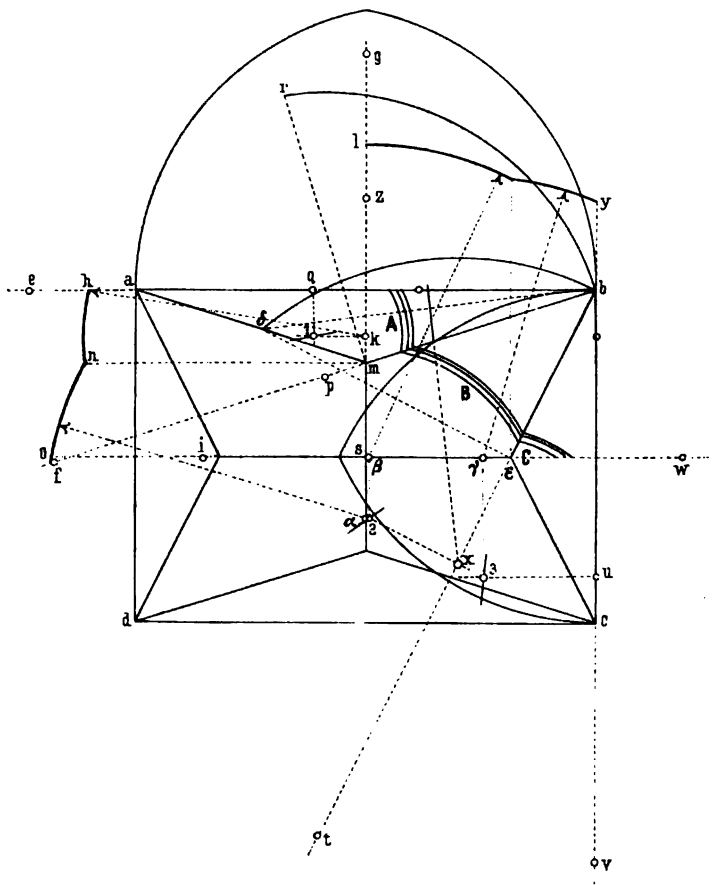
Sollen die Kappenflächen Theile von reinen Kugelflächen sein, welche durch die ausgetragenen Bogen A, G, H, C, F bestimmt werden, so ist a der Mittelpunkt der Kappenflächen 1 und 3 mit dem Halbmesser ao und dem größten Kreise A . Hieraus folgt ohne Weiteres, daß die Kreuzrippe über os nur die Kugelfläche der Kappen 1 und 3 gliedert. Die Kappenfläche 4 gehört einer besonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkt g , dem Halbmesser go und dem größten Kreise G an. Eben so entspricht die Kappenfläche 2 einer besonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte c , dem Halbmesser co und dem größten Kreise C . Zum Austragen der Scheitelrippe 3 über ts dient die Kugelfläche um a . Das von a auf die Verlängerung von ts gefällte Loth ergibt i als Mittelpunkt des Bogens 3 . Der Halbmesser desselben ist gleich der Länge eines von i nach dem größten Kreise A gezogenen Strahles. Da ss_2 auch gleich ss_1 sein muß, so ist der Bogen 3 ausreichend bestimmt. Beschreibt man um a den Kreisbogen tp , so sind, der Kugelfläche um a entsprechend, auch $tt_1 = pt_1 = tt_2$.

Für die Scheitellinie K über sy ist $ss_2 = ss_1$ und der Fußpunkt k des von a auf yk gefällten Lothes ak der Mittelpunkt.

Hätte man unter der Annahme der Höhe $tt_2 = pt_1$ für den Zwischenbogen über ot einen Knickbogen mit dem Halbmesser ao des Principalbogens schlagen wollen, so liefert der aus o und t_2 mit $ao = do$ gezeichnete Kreuzrisspunkt b , welcher um eine Strecke gleich mn unter der Kämpferebene liegen würde, den Mittelpunkt dieses Knickbogens B . Ein Vergleich desselben mit dem vorhin ausgetragenen Bogen C giebt nur mäßige Abweichungen an. Führt man durch die Gewölbekappe t einen wagrechten Schnitt w , bezw. w_1 , so ist der um a beschriebene Kreisbogen r_1x die Grundrissprojection der Schnittlinie. Würde die Bedingung gestellt, daß eine von o nach t_2 aufsteigende Zwischenrippe einer cylindrischen Fläche mit einem Knickbogen B als Leitlinie angehören sollte, welche für Punkte wie r und w_2 gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhielte, so würde eine gewundene Zwischenrippe entstehen, deren wagrechte Projection als eine krumme Linie ox leicht bestimmt werden könnte. Derart gewundene Rippen kommen bei gothischen Gewölben hier und dort wohl vor; sie sind im Allgemeinen aber unschön und können nur in ganz besonderen Fällen eine gewisse, meistens jedoch nur geringe Berechtigung in Rücksicht auf die statischen Verhältnisse der beiden von solchen gewundenen Bogen getragenen Kappen haben.

Das in Fig. 475 dargestellte einfache Sterngewölbe kann hinsichtlich der Form seiner Zwischen- und Randbogen durch ein Verlegen der Punkte g, h, c, f die mannigfachste Abänderung erfahren. Zweckmäßig betrachtet man die nach den Austragungen der einzelnen Bogen gezeichneten Längen- und Querschnitte des Gewölbes als vorläufige Skizzen, bessert in denselben, falls noch Unschönheiten in der Gestaltung erblickt werden, aus freier Hand die Bogen- und Kappenlinien in künstlerischer Weise ein und sucht hiernach, gleichsam rückwärts gehend, in der Kämpferebene die Mittelpunkte derjenigen Kreisbogen auf, welche den entworfenen Bogen thunlichst nahe kommen und an deren Stelle zu treten haben. Auf diesem Wege ist die gesetzliche Freiheit bei der Gestaltung solcher Gewölbe gewahrt.

Fig. 476.



286.
Einfaches
Netzgewölbe.

Fehlen in einem mehrtheiligen Kreuzgewölbe, wie bei der in Fig. 476 über einem rechteckigen Felde gegebenen Darstellung angenommen ist, die Diagonalbogen, so ändert sich der Gang des Austragens der Rand-, Zwischen- und Scheitelpunkt nicht. Nach den gemachten Mittheilungen sind, nachdem die Höhen der Scheitelpunkte der Randbogen und der Zwischenbogen, wofür z. B. $mr = \varepsilon \delta$ genommen ist, fest gestellt wurden, die einzelnen, aus der Zeichnung sofort zu erkennenden Ausmittlungen der Bestandtheile vorzunehmen. Bemerkte sei

nur, daß z der Mittelpunkt der Kugelfläche A und g ein Punkt ihres größten Kreises ist, während 2 und w , 3 und i für die Kugelflächen B , bzw. C als Mittelpunkte und Punkte zugehöriger größter Kreise in Betracht kommen.

Die im Grundrisse gegebene Anordnung des Rippen-systemes, wonach bei dem Fehlen der Kreuzrippen eine Abänderung des einfachen Sterngewölbes eintritt, zeigt die einfachste Gestaltung eines Netzgewölbes.

Wird das Rippen-system des einfachen Sterngewölbes durch Hinzunehmen einer größeren Zahl von Zwischen-, Scheitel- und Nebenrippen als ein erweiterter tragender Gerüstkörper für die Kappenwölbung gestaltet, und entspricht dabei die Grundrisbildung des Rippenwerkes der Form eines mehr- oder vielstrahligen Sternes, so entsteht das mehrgliedrige Sterngewölbe. Dasselbe wird oft Sterngewölbe ausschließlich genannt.

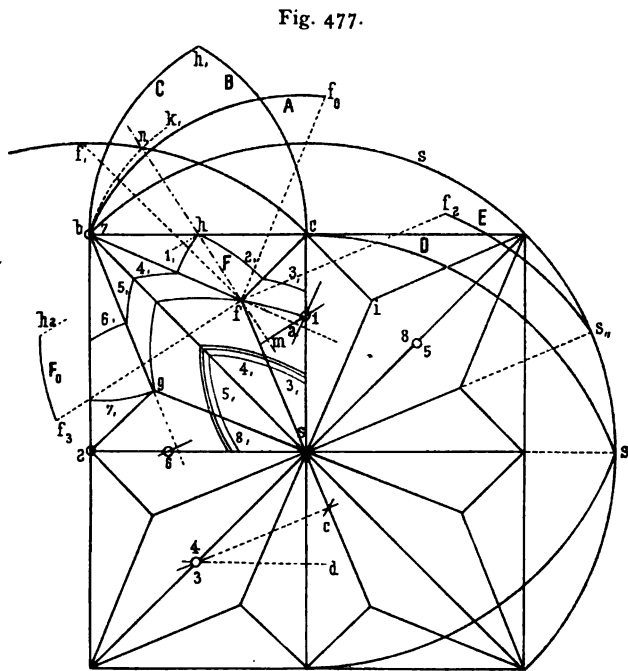
287.
Mehrgliedriges
Sterngewölbe.

Die Grundlage der Entwicklung dieses Gewölbes bietet das einfache gothische Gewölbe mit feinen Diagonalbogen. Die weitere Theilung der Hauptkappen desselben durch Vervielfältigung der Rippen bedingt die Bildung des oft mannigfaltig und reich gestalteten Sterngewölbes. Hierdurch unterscheidet sich dasselbe von dem später zu berücksichtigenden mehrfach gegliederten Netzgewölbe. Die Austragungen der Bogen für die Rippen des mehrgliedrigen Sterngewölbes können in derselben Weise

vorgenommen werden, wie bei dem einfachen Sterngewölbe gezeigt ist.

Als Beispiel soll hier ein Sterngewölbe, dessen Grundlage ein achttheiliges Kreuzgewölbe bildet, in Fig. 477 dienen. Der Grundriß ist ein Quadrat, dessen Seiten acht Stützpunkte des Gewölbes enthalten, so daß an jeder Seite des Quadrats zwei Randbogen entstehen. Die Diagonalbogen mögen Halbkreise sein.

Hierdurch ist die Scheitelhöhe des ganzen Gewölbes gleich dem Halbmesser sb bestimmt. Die parallel zu den Seiten durch die Stützen c und z geführten Theilrippen gehen durch den Gewölbscheitel, haben also eine Höhe $ss_1 = sb$. Ihre Bogenlinie ist ein Spitzbogen, wofür die Mittelpunkte, wie d für D , auf bekanntem Wege gefunden werden können. Die Randbogen sind Spitz-



bogen mit den Schenkeln B und C , beschrieben aus b und c . Zwischenrippen wie bf , cf u. f. f. halbiren in ihrer Grundrislage die Winkel cbf , bcs u. f. f., so daß nach dem Festlegen der Schnittpunkte f , bzw. g , die Lage der Scheitelrippen fs , gs u. f. f. im Grundriß vorgeschrieben wird.

Wird hiernach die geometrische Grundrisfigur des Rippenwerkes des ganzen Gewölbes vervollständigt, so entsteht die Form eines achtstrahligen Sternes. Setzt man die Höhe ff_1 der Zwischenbogen über bf , bzw. zg u. f. f. größer, als die Höhe hh_1 der Randbogen und kleiner als die Scheitelhöhe des gesammten Gewölbes z. B. in der Weise fest, daß der Punkt z Mittelpunkt für den Bogen cf_1 wird, so läßt sich hiernach auch der Bogen A über bf mit der Höhe $ff_0 = ff_1$ nebst seinem Mittelpunkte a darstellen.

Nach diesen Bestimmungen sind alle übrigen noch erforderlichen Austragungen leicht zu bewirken. Setzt man wiederum voraus, daß die Laibungsflächen aller Kappen gefetzmäßig entstehenden Kugelflächen zwischen ihren zugehörigen Rippen angehören sollen, so wird der Schnitt 1 des Lothes $c1$ auf bc und des Lothes $a1$ auf ba der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe 1 , mit dem um 1 beschriebenen größten Kreife k_1 , dessen Halbmesser gleich $1b$ ist. Die Scheitellinie F_0 über F wird der Kreisbogen $h_2 f_3$ mit dem Mittelpunkte m , also dem Fußpunkte des von 1 auf hf gefällten Lothes und dem Halbmesser mn , welcher in der Richtung fh von m bis n auf dem größten Kreife k_1 geführt wird. Der Bogen E der Scheitelrippe über fs ergibt sich aus der Bestimmung der Kugelfläche der Kappe 3 . Errichtet man im Mittelpunkte z des Bogens $c f_1$ über cf das Loth auf $c2$ und eben so im Mittelpunkte d des Bogens D über cs das Loth auf cd , so ist der Schnittpunkt 3 dieser Lothe der Mittelpunkt der Kugelfläche dieser Kappe. Ihr größter Kreis würde den Halbmesser $3c$ besitzen. Fällt man von 3 das Loth $3e$ auf die Verlängerung von fs , so ist e der Mittelpunkt des Kreisbogens E der Scheitelrippe über fs . Da ff_2 gleich ff_1 , außerdem auch ss_2 gleich sb sein muß, so ist der Bogen E überreichlich bestimmt. Sein Halbmesser ist ef_1 , bzw. es_2 . Nach gleichen Mafnahmen sind die Punkte $4, 5, 6, 7, 8$ als Mittelpunkte der Kugelflächen der Kappen $4, 5$ bis 8 aufgesucht. Wagrechte Ebenen rufen Schnittlinien auf diesen Kappenflächen hervor, welche, den Mittelpunkten entsprechend bezeichnet, im Grundrisse näher angedeutet sind.

Nach diesen Angaben können die Austragungen der Bestandtheile eines Sternengewölbes, welches in anderer und in sonst beliebiger Weise angeordnet ist, besondere Schwierigkeiten nicht bereiten. Auch hier möge, wie in Art. 277 (S. 404), darauf hingewiesen werden, daß, falls die einzelnen Kappen eine andere Bufung erhalten sollen, als die nach einer Kugelfläche gebildete Wölbung ergibt, leicht auf Grund der ermittelten Kugelflächen eine Umwandlung derselben in besondere sphäroidische Flächen vorgenommen werden kann. Hierauf wird später Rücksicht genommen werden.

288.
Korbbogen
als
Rippenbogen.

Statt der einfachen Kreisbogen können für die Bogenlinien der Rippen eines Sternengewölbes auch Korbbogen benutzt werden. Solches ist der Fall, wenn die einzelnen Rippenbogen eine genau vorgeschriebene Höhe erhalten und in ihren Anfängen stets gleichen Halbmesser besitzen sollen. Diese Bogenformen haben namentlich in der englischen Gothik Verwendung gefunden. Meistens ist den sämtlichen Bogen gleiche Scheitelhöhe über der Kämpferebene gegeben. Das Austragen derselben ändert sich im Wesen aber auch nicht, wenn den Kreuz- und Zwischenbogen in Bezug auf die Randbogen verschiedene Scheitelhöhen zugewiesen werden sollen. In Rücksicht hierauf ist in Fig. 478 für die Randbogen A und B eine gleiche Höhe festgesetzt, während der Zwischenbogen E diese Höhe um das Maß v , der Bogen D um die Strecke z und der Hauptbogen C um die Länge y überschreitet. Die Höhenunterschiede v, z, y sind durch die im Grundrisse eingetragenen, mäßig gekrümmten Hilfslinien hy und iy gewonnen. Sämtliche Bogen sind in ihren Anfängen fp mit einem gleichen Halbmesser po um den auf der wagrechten, durch den Kämpferpunkt p gehenden Linie fg beliebigen Punkt o als Mittelpunkt beschrieben. Auf dem durch o und p geführten Strahle pL sollen die Mittelpunkte der übrigen Bogen liegen.

Um den oberen Theil vom Hauptbogen C zu erhalten, ist $f4 = f5$ auf fg abgetragen, in 4 das Loth $4q$ gleich der Höhe dieses Bogens auf fg errichtet und mit Hilfe von Kreuzrissen aus p und q der Strahl bestimmt, welcher in seinem Schnitte c mit pL den Mittelpunkt des Bogenstückes pC als Fortsetzung des Ansatzstückes fp ergibt. Der Bogen fpq ist der gefuchte Korbbogen der Hauptrippe. In gleicher Weise

Fig. 478.

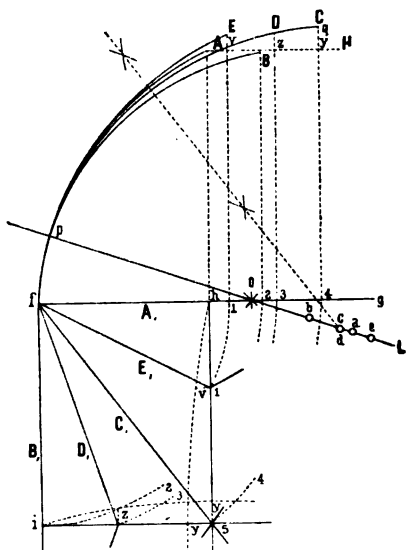
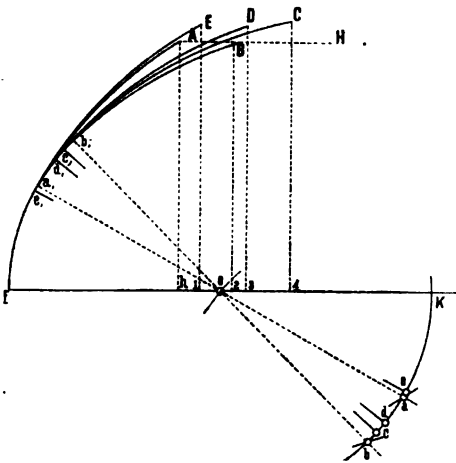


Fig. 479.



werden die Mittelpunkte a für A , b für B u. f. f. ermittelt.

Bei dieser Bildung der Korbbogen sind im Allgemeinen die oberen Bogenstücke mit verschiedenen Halbmessern versehen, während alle Anfätze neben gleichen Halbmessern auch gleiche Bogenlängen aufweisen.

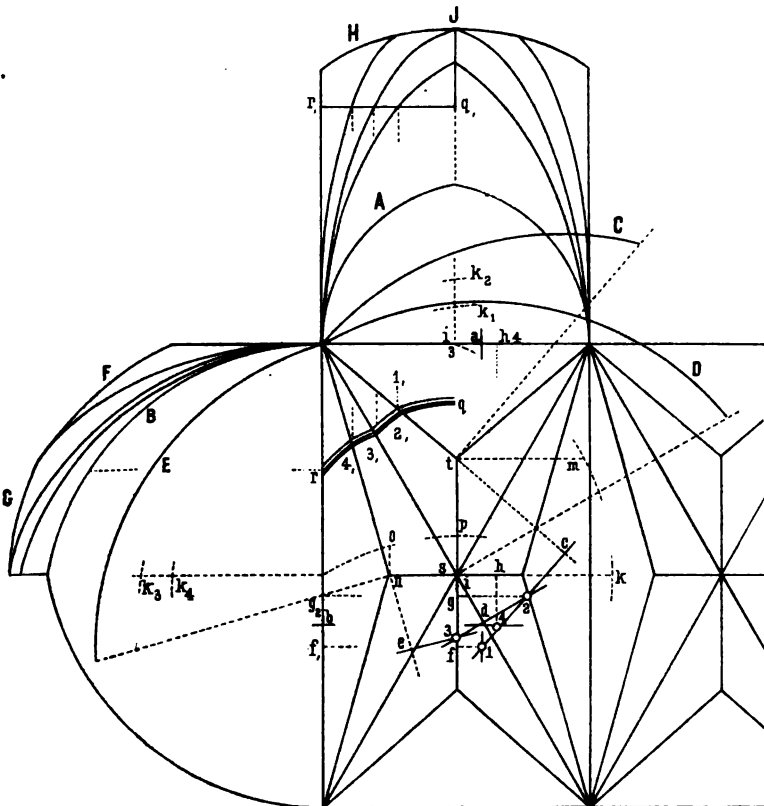
Läßt man für die Bogenanfätze gleiche Halbmesser und eben so für die oberen Stücke der Bogen wiederum gleiche, aber den Scheitelhöhen entsprechende grössere Halbmesser einführen, so kann nach Fig. 479 das folgende Verfahren zum Austragen der Bogen benutzt werden.

Unter Annahme der Höhen der einzelnen Rippen ist zunächst o als Mittelpunkt für die Anfätze aller Bogen auf der wagrechten Linie fK gewählt. Um o ist ferner mit beliebig grossem Halbmesser, welcher in der Regel gleich of genommen wird, ein Kreisbogen K unterhalb fK geschlagen. Behält man die Länge fK als Halbmesser der oberen Stücke der Rippenbogen bei, so liegen die Mittelpunkte derselben auf diesem Kreisbogen K .

Schnitte a, b u. f. f. der aus den Scheitelpunkten A, B u. f. f. von um A, B u. f. f. mit dem Halbmesser fK beschriebenen Kreisbogen auf der Kreislinie K werden die Mittelpunkte der zugehörigen

Korbbogenstücke, deren Scheidestrahlen, durch ao, bo u. f. f. geführt, die Vereinigungspunkte a_1, b_1 u. f. f. zwischen Ansatz- und Oberbogen der Rippen ergeben. Erstere erhalten hierbei verschiedene grosse Bogenlängen.

Fig. 480.



Mehrstrahlige Sterngewölbe über unregelmäßigem Grundrifs werden nach denselben, für regelmässige Gewölbe gegebenen Grundlagen behandelt. Im Uebrigen ist dabei das in Art. 287 (S. 417) Gefagte zu beachten. Werden mehrere neben einander liegende gleiche Gewölboche (Fig. 480) mit Sterngewölben versehen,

so erfolgt die Gestaltung derselben in der genügend erörterten, in der Zeichnung näher erkennbaren Weise.

289.
Mehrgliedriges
Netzgewölbe.

Wird ein einfaches Netzgewölbe (siehe Art. 286, S. 416) durch eine Schar von Rippengebilden vermehrt, welche in ihrer Zusammenfügung eine netzartige Verbindung ergeben, so entsteht das Tragsystem für ein mehrgliedriges Netzgewölbe. Die selbständig in die Felder des Rippen-systemes eingefügten und von demselben gestützten Kappen sind das Füllwerk des Gewölbes. Bei diesen Gewölben, welche zur Ueberdeckung lang gestreckter Räume dienen können, fehlen die Kreuzrippen und meistens auch die Gurtrippen, so daß eine Eintheilung des zu überwölbenden Raumes in Joche häufig fortfällt. Die Widerlager dieser Gewölbe sind bei kleineren Gewölbefeldern einzelne Pfeiler, bei längeren ebenfalls Pfeiler oder besonders an den langen Umfangswänden angebrachte Stützkörper. Im letzteren Falle entspricht der Querschnitt dieser Gewölbe häufig der Form eines Tonnengewölbes mit Stichkappen. Sie unterscheiden sich aber in bemerkbarer Weise von solchen Tonnengewölben durch die selbständige Rippenbildung, durch die besondere Wölbung der Kappen, welche in ihrer Laibung mit Bufung versehen, einer Tonnengewölbfäche nicht angehören und durch ihre eigenartige Gestaltung, welche nicht von der Querschnittsform des Gewölbes, sondern von der Form eines bestimmt angenommenen Rippenbogens abhängig gemacht wird.

Die Rippen solcher reich gegliederter Netzgewölbe werden in ihrer Gesamtheit Reihungen genannt, eine Bezeichnung, welche auch wohl bei vielstrahligen Sterngewölben eintritt. Doch lassen sich bei diesen Reihungen wiederum Hauptrippen, Zwischen-, Neben- und Scheitelrippen u. f. w. unterscheiden. Die Kappenfelder heißen Maschen, wenn ihre Grundrissprojection rautenförmig erscheint.

Das Austragen der bei diesen Gewölben in Frage kommenden Bogenlinien kann z. B. bei dem in Fig. 481 im Grundriss dargestellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 287 (S. 417) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem lang gestreckten Gewölbefelde, wie in Fig. 482, wird eine längste, von Umfangswand zu Umfangswand schräg ziehende Rippe als Principalbogen angenommen. Die Form dieses grundlegenden Bogens kann ein Halbkreis, ein Spitzbogen, ein Korbogen u. f. f. sein. Diese Bogenform dient als Leitlinie für die Erzeugung der Bogenlinien aller übrigen Rippen. Mit

Fig. 481.

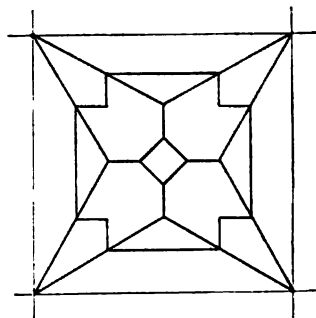
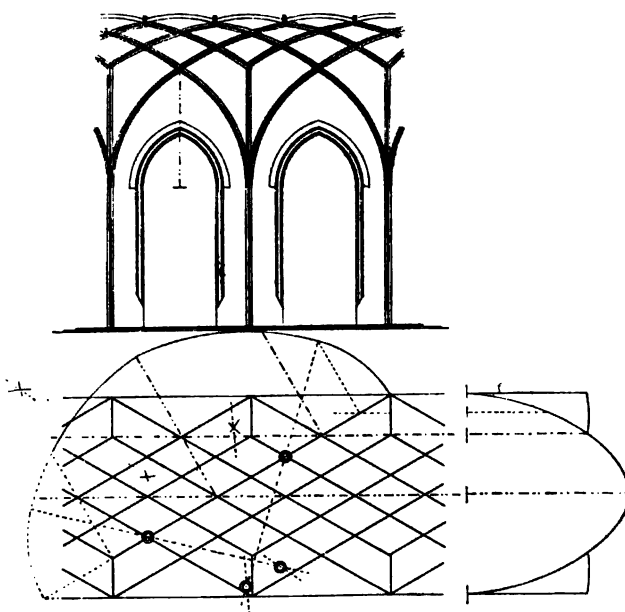


Fig. 482.



Hilfe gerader wagrechter Linien, welche parallel mit der wagrechten Scheitellinie des Gewölbes am Principalbogen fortgeführt werden können, lassen sich in bekannter Weise und wie es aus der Zeichnung ohne Weiteres ersichtlich ist, die nöthigen Ausmittlungen schaffen.

Wie nun auch die Grundrissbildung der Reihungen auftreten soll, immer ist dahin zu sehen, daß keine Anordnung getroffen wird, welche die Standfähigkeit des meistens in labilem Gleichgewichtszustande befindlichen Rippenkörpers an sich schon stark beeinträchtigen könnte. Eine Verspannung der Reihungen durch die eingefügten Kappen wird vermöge der ihnen zu ertheilenden Bußung allerdings in gewissem Grade bewirkt.

3) Gothische Kreuzkappengewölbe.

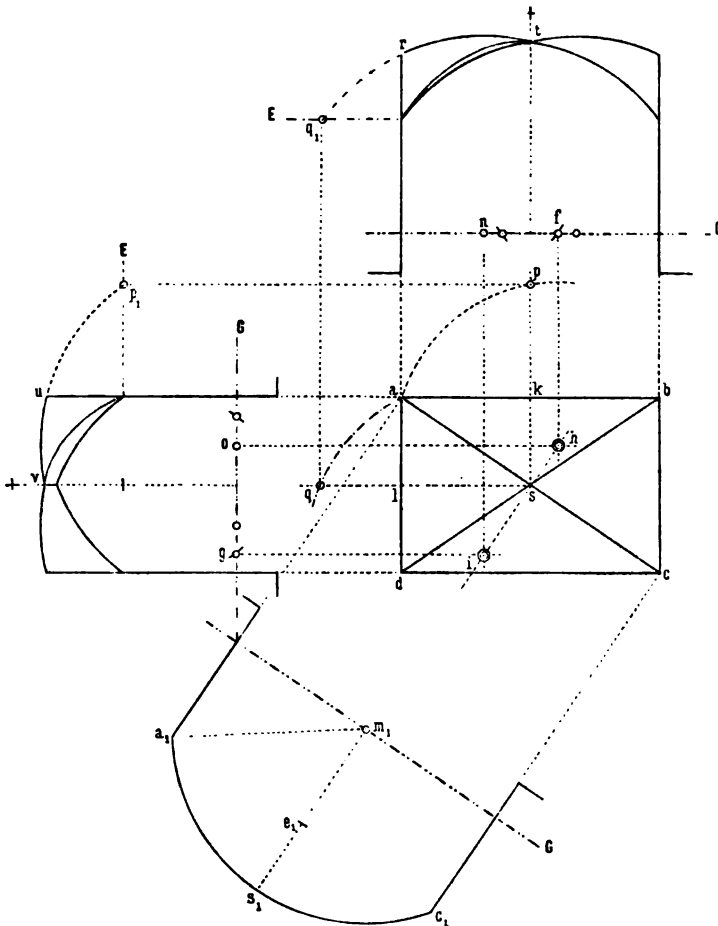
Liegen die Scheitel der Kreuz- und Randbogen bei einem einfachen gothischen Kreuzgewölbe im Vergleich mit ihren Spannweiten in geringer Höhe über der wagrechten Kämpferebene, so entsteht das Kreuzkappengewölbe oder das flache Kreuzgewölbe. Kreuz- und Randbogen können als flache Kreisbogen oder als flache Spitzbogen (Knickbogen) ausgebildet werden. Die Kappen, welche auch bei diesen Gewölben Füllungen zwischen den tragenden Rippenkörpern sind, können in ihren Lai-

bungen Kugelflächen oder sphäroidischen Flächen, seltener cylindrischen Flächen angehören.

Für die Gestaltung dieser Gewölbe können die bei der Bildung des einfachen gothischen Kreuzgewölbes gegebenen Gesetze gleichfalls befolgt werden.

Für das rechteckige Gewölbfeld $abcd$ (Fig. 483) möge die Bogenlinie der Kreuzrippe ac ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkt m_1 , dem Halbmesser m_1a_1 und der Pfeilhöhe e_1s_1 sein. Die durch m_1 parallel zur Kämpferebene gelegte Mittelpunktsebene G heiße die Grundebene. Die Randbogen über ab und ad mögen flache Spitzbogen sein, welche, hier z. B. mit dem-

Fig. 483.



selben Halbmesser $m_1 a_1$ des Kreuzbogens beschrieben, ihre Mittelpunkte wie f, g in der Grundebene G besitzen sollen.

Hierdurch sind bereits die sämmtlichen Bogen des Rippenwerkes bestimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelflächen gewölbt werden, so sind die Mittelpunkte derselben in der Grundebene aufzufuchen. Für die Kappe ask wird offenbar nach den früher gemachten Mittheilungen der Punkt h , für die Kappe asl dagegen der Punkt i der zugehörige Mittelpunkt. Ein mit dem Halbmesser ha um h beschriebener Kreisbogen ap gehört einem in der Kämpferebene E gelegenen Parallelkreise der Kugelfläche der Kappe ask an, während der mit dem Halbmesser ia um i beschriebene Kreisbogen aq einem Parallelkreise der Kugelfläche der Kappe asl zukommt. Um die Scheitellinie über ls zu erhalten, ist der Punkt i nach n auf G und der Punkt q nach q_1 auf E zu projeciren und sodann um n mit dem Halbmesser nq_1 der Kreisbogen $q_1 t$ zu schlagen. Das Stück rt desselben ist die Scheitellinie über ls . In ähnlicher Weise wird uv als Scheitellinie über ks mit Benutzung der Projectionen h, o und p_1, p gefunden.

Hiernach ist die Ausmittlung der Hauptbestandtheile eines flachen Kreuzgewölbes, so lange die Mittelpunkte der Rand- und Kreuzbogen in einer und derselben Grundebene liegen, äusserst einfach, auch selbst dann noch, wenn diese Bogen mit ungleich grossen Halbmessern beschrieben sind. Liegen die Mittelpunkte der Bogen nicht in einer und derselben Grundebene, so hat das Austragen der Bogen selbst an sich keine Schwierigkeit; nur sind dann die Laibungen der mit Bufung zu verfehenden Kappen nicht mehr reine Kugelflächen. Die Scheitellinien derselben sind vielmehr nach der besonderen Gestaltung der sphäroidischen Flächen zu bestimmen.

Das Rippen- und Kappengebilde für ein flaches Sterngewölbe würde man gleichfalls nach den angegebenen Grundlagen schaffen können.

Da die flachen Kreuz-, bezw. Sterngewölbe eine geringe Constructionshöhe erfordern, so ist ihre Verwendung im Bauwesen in manchen Fällen vortheilhaft. Sie liefern eine ansprechende Deckenbildung, welche einer mehr oder weniger reichen Ausstattung fähig ist.

4) Steigende gothische Kreuzgewölbe.

291.
Gestaltung.

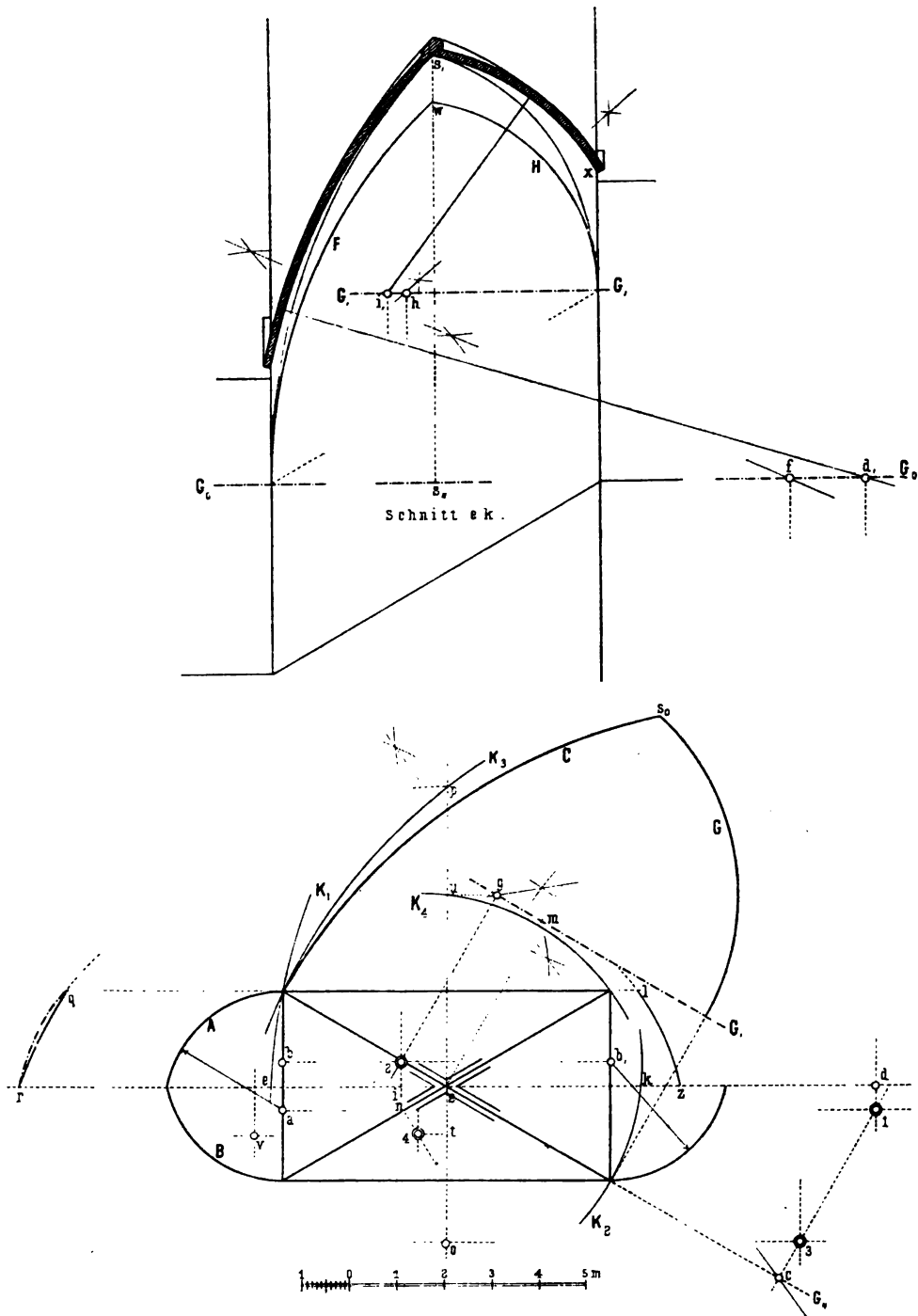
Die Kämpferebene eines steigenden Kreuzgewölbes ist eine geneigte Ebene. Hierdurch wird eine verschiedene Höhenlage der Stützpunkte der Kreuz- und Randbogen bedingt und damit im Zusammenhange stehend die Form dieser Bogen beeinflusst.

Die Kreuzbogen bestehen bei spitzbogigen Wölblinien im Allgemeinen aus zwei mit verschiedenen Halbmessern beschriebenen Kreisbogen, deren Mittelpunkte in zwei über einander liegenden wagrechten Grundebenen anzunehmen sind. Der Abstand dieser Grundebenen entspricht bei Spitzbogen, deren Tangenten an den Kämpferpunkten lothrecht sind, stets der Höhe der geneigten Kämpferebene. Dieser Abstand wird auch passend für Knickbogen beibehalten. Die Randbogen über der ansteigenden Seitenlinie dieser Ebene sind gleichfalls bei Spitzbogenform aus Kreisbogenstücken zusammengesetzt, welche wiederum mit verschiedenen grossen Halbmessern geschlagen werden. Die Mittelpunkte derselben liegen je für sich getrennt in den beiden bezeichneten Grundebenen.

Die Randbogen über der unteren und oberen wagrechten Seitenlinie der Kämpferebene sind dagegen in gewöhnlicher Weise als Spitzbogen mit gleichen Halbmessern zu schlagen. Die Mittelpunkte ihrer Schenkel liegen in der unteren, bezw. oberen Grundebene.

Das Austragen der Bogen und der von ihnen begrenzten Kappenstücke kann nach denselben Grundlagen erfolgen, welche beim einfachen gothischen Kreuzgewölbe gegeben sind.

Fig. 484.



In Fig. 484 sind diese Austragungen für ein steigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde vorgenommen.

In der Darstellung des Schnittes ek sind G_0 und G_1 die Spuren der bezeichneten beiden Grundebenen. In der Grundrissenebene ist der Kreuzbogen mit den Schenkeln C , D niedergelegt. Die parallelen Geraden G_0 und G_1 bestimmen hier die Lage der Spuren jener beiden Grundebenen. Die Höhe des

Gewölbes sei vorgeschrieben und als $s s_0 = s_{,,} s$, aufgetragen. Hiernach ergibt sich bei lothrechten Tangenten in den Fußpunkten sämtlicher Kreuz- und Randbogen sofort in c auf $G_{,,}$ der Mittelpunkt des Schenkels C , in g auf G , der Mittelpunkt des Schenkels G des Kreuzbogens, während f auf G_0 und h auf G , in der Aufrisprojection die Mittelpunkte der Schenkel F und H des großen Randbogens mit der angenommenen Höhe $s_{,,} w$ werden. Die Mittelpunkte a, b , bezw. b_1 der Randbogen für die beiden schmalen, oberen und unteren Seiten können je nach der zu wählenden Form des Spitzbogens ohne Weiteres angenommen werden.

Die Kappenflächen können wiederum als Kugelflächen behandelt werden. Die Kugelfläche zwischen dem Schenkel A des Randbogens der unteren schmalen Rechtecksseite und dem Schenkel C des Kreuzbogens erhebt sich über der Grundebene $G_{,,}$. Der Mittelpunkt i derselben ist der Schnitt der in c auf $G_{,,}$ und in a auf ab errichteten Lothe. $K_1 c$ ist ein Stück ihres größten Kreifes, und folglich wird d der Mittelpunkt der Scheitellinie über cs in der lothrechten Ebene cd . Dem Punkte d entspricht der Punkt d_1 im Schnitte ek . Ein um d_1 mit dem Halbmesser dc , welcher auch gleich $d_1 s_1$ sein muß, beschriebener Kreisbogen liefert die Scheitellinie. Für die Kugel- oder Kappenfläche zwischen dem um b_1 geschlagenen Schenkel des oberen Randbogens und dem antretenden Schenkel G des Kreuzbogens wird der Schnitt x des Lothes von g auf G , mit dem in b_1 auf der zugehörigen Seitenlinie des Gewölbefeldes errichteten Lothe der Mittelpunkt. Diese Kugelfläche erhebt sich über der Grundebene $G_{,,}$. $K_2 k$ ist ein Theil ihres größten Kreifes. Der Mittelpunkt der Scheitellinie über ks ist der Fußpunkt i des Lothes si auf ek ; ihr Halbmesser ist gleich ik .

Hiernach ist der im Schnitte ek um i_1 , der Aufrisprojection von i , mit ik beschriebene Kreisbogen xs_1 die gefuchte Scheitellinie.

In gleicher Weise wird, wie aus der Zeichnung zu ersehen, j der Mittelpunkt der Kugelfläche zwischen dem Schenkel F des Randbogens der aufsteigenden Seitenlinie des Gewölbefeldes und dem Schenkel C des Kreuzbogens. Die Kugelfläche steht auf der Grundebene $G_{,,}$. K_3 ist ein Theil ihres größten Kreifes, daher der um o mit dem Halbmesser op beschriebene, hier stark gezeichnete Kreisbogen qr die Scheitellinie der zugehörigen Kappenfläche. Diese Kappenfläche ist aber mit der Kappenfläche zwischen dem zweiten Schenkel H des großen Randbogens und dem zweiten Schenkel G des Kreuzbogens an der gemeinschaftlichen Scheitellinie zu vereinigen. Die Kappen- oder Kugelfläche, begrenzt von H und G , erhebt sich aber nicht über der Grundebene $G_{,,}$, sondern über $G_{,,}$. In Folge hiervon kann die vorhin gefundene Scheitellinie qr nicht ohne Weiteres auch derjenigen der Kugelfläche für H und G entsprechen. Bestimmt man zunächst wiederum den Mittelpunkt z dieser neuen Kugelfläche als Schnitt des Lothes von n auf sn , wobei offenbar sn gleich mg oder gleich s_2 ist, und des Lothes von h auf G , (Schnitt ek), so wird K_4 als Theil des zugehörigen größten Kreifes erhalten.

Hiernach wird t als Mittelpunkt und tu als Halbmesser der neuen Scheitellinie tz bestimmt. Diese Scheitellinie ist mit Hilfe des Punktes v , welcher dem Mittelpunkte t auf der Grundebene G , entspricht, als punktirte Linie qr neben der früheren Scheitellinie gezeichnet. Hierdurch erkennt man die Abweichung derselben zwischen den sonst immer gemeinschaftlich bleibenden Endpunkten p und q . Dieselbe ist aber meistens sehr geringfügig, so daß bei der Einwölbung der Kappen unter Beibehaltung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten j und z , in der Nähe der zu schaffenden gemeinschaftlichen Scheitellinie äußerst leicht ein Ausgleichen jener Abweichung getroffen werden kann.

Werden die Rand- und Kreuzbogen eines steigenden Kreuzgewölbes als Knickbogen mit größerer oder geringerer Pfeilhöhe geformt, so wird auch hierdurch das Wesen der Gestaltung des alsdann mehr oder weniger sich über der geneigten Kämpferebene erhebenden Gewölbes nicht geändert.

Fig. 485 giebt sofort den nöthigen Aufschluß.

Sind die Grundebenen G_1 und G_2 fest gelegt, sind die Bogenlinien B, C für die Kreuzbogen, D, E für die großen Randbogen und A für die kleinen Randbogen unter Berücksichtigung der Lage ihrer Mittelpunkte in der ihnen zukommenden Grundebene beschrieben, so lassen sich alle nöthigen Ausmittelungen unter Benutzung der soeben und ferner in Art. 290 (S. 421) beim flachen Kreuzgewölbe gegebenen Erörterungen für das ganze Gewölbe bewirken.

Ein genaues Verfolgen der in der Zeichnung noch näher zu erfahrenden Handhabungen, welche die Gestaltung des behandelten Gewölbes deutlich erkennen lassen, führt ohne Schwierigkeit zum Ziele.

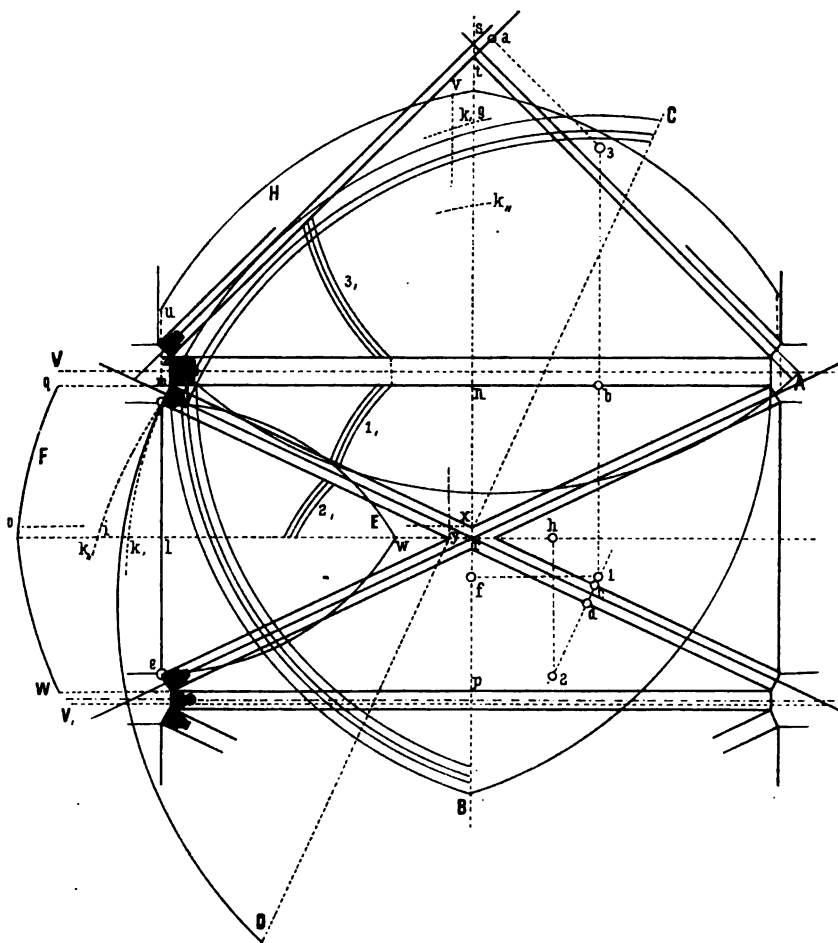
5) Widerlager der gothischen Kreuzgewölbe.

292.
Allgemeines.

Das Uebertragen des Gewölbfchubes und der vom Eigengewicht nebst einer grösseren oder geringeren fremden Belastung herrührenden Gesamtlast auf einzelne Stützen, welche bei den gothischen Kreuzgewölben als Widerlager vorwiegend in Betracht kommen, bedingt eine besondere Gestaltung der Widerlagskörper.

Für diese Gestaltung ist der Grundriss der Gewölbanfänge von größter Bedeutung. Beim Zusammentreten der Kreuz-, Rand- oder Zwischenbogen, bezw. ihrer

Fig. 486.



Rippenkörper muß thunlichst ein regelmässiges Auseinanderwachen derselben oberhalb des Gewölbfusses angestrebt werden. Der Gewölbfuß selbst soll, ohne eine übermäßig große Fläche einzunehmen, einen Querschnitt des Widerlagskörpers nach Form und GröÙe entstehen lassen, welcher unter Berücksichtigung der sämtlichen auf die Stütze gelangenden Kräfte der sicheren Standfähigkeit des Gewölfsystems entspricht.

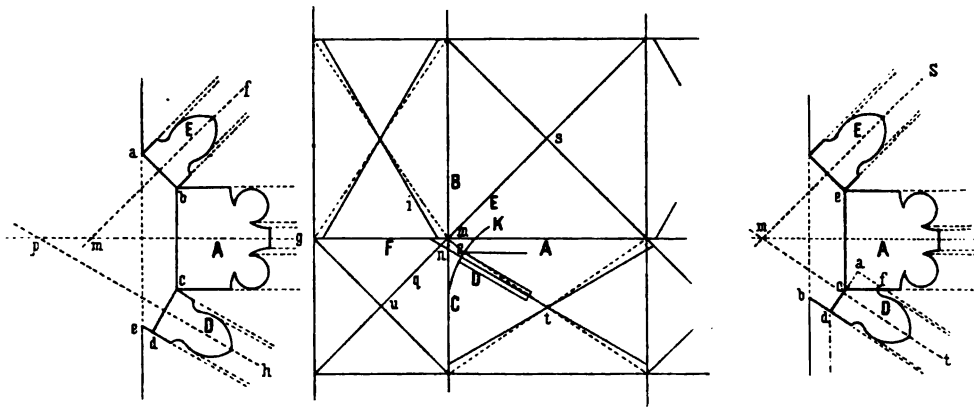
Bei an einander gereihten Gewölben (Fig. 486) ist zu bemerken, daß im Allgemeinen die zusammentretenden Rippen *A*, *B*, *C*, *D* nicht immer einen und denselben Querschnitt besitzen, daß häufig ihre Bogenlinien nicht mit gleichem Halbmesser geschlagen sind, und daß die wagrechten Projectionen ihrer Mittellinien recht oft

beim Zusammentreten von verschiedenartig im Grundrifs angeordneten Gewölbefeldern ungleich große Winkel zwischen sich einschließen oder sich auch nicht einmal in einem gemeinschaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle diese Umstände beeinflussen die Entwicklung des Querschnittes der Widerlagskörper in merkbarem Grade, auch selbst dann, wenn, wie aus der Zeichnung sofort entnommen werden kann, die Gestaltung der Laibungen der Wölbkappen als Kugelflächen mit den Mittelpunkten 1, 2, bzw. 3 und den größten Kreisen k , k'' u. f. f. nach dem in Art. 237 (S. 348) Gefagten bewirkt wird.

Zur Erklärung des Ganges, welcher für die Bildung des Querschnittes eines Gewölbpfeilers eingeschlagen werden kann, soll nach Fig. 487 ein Zwischenpfeiler m besprochen werden, welcher als Stütze für acht Rippenkörper von vier zusammengelegten Gewölben mit theils quadratischem, theils rechteckigem Grundrifs dient.

293.
Querschnitts-
bildung
für einen
Gewölbpfeiler.

Fig. 487.



Behält man entsprechend der Lage und der Anordnung der Gewölbefelder die Diagonalen derselben als Grundrifsprojection der Mittellinien der Kreuzbogen bei, so schneiden sich diese im gemeinschaftlichen Eckpunkte m der Gewölbefelder, welcher zugleich der lothrechten Axe des Zwischenpfeilers angehört. Ordnet man nach diesen Mittellinien, unter Hinzunahme der Mittellinien der Gurtrippen A , B , F und C , durch Einführen der Querprofile A der Gurtrippe und D , E der Kreuzrippen, welche hier kleiner als A genommen sind, den Grundrifs des für diese Rippen erforderlichen Gewölbfusses, so ergibt sich meistens für die Rippe D ein unschönes Einschneiden bei af am Rippenkörper A . Sollte zur Vermeidung dieses Einschneidens der Punkt a nach f verlegt werden, so würde der große Uebelstand des weiteren Vorrückens des Punktes d von der Seitenlinie des Gurtbogens C sich geltend machen, so daß auch hierbei ein gut gegliedertes Abzweigen der Rippe C von der Rippe A nicht entstände. Durch eine Aenderung der Lage der Mittellinie mt der Rippe C kann jedoch eine bessere Abzweigung derselben erzielt werden. Zur Bestimmung dieser neuen Lage der Mittellinie der Rippe C kann man in der folgenden Weise verfahren. Beschreibt man um die als nicht veränderlich geltende wagrechte Projection t des Scheitelpunktes des Gewölbes zwischen A und C mit dem Halbmesser tc einen Kreisbogen K , so kann man die Breite ad der Rippe D derart einfügen, daß a nach c gelegt und d auf den Kreisbogen K gesetzt wird. Die von t durch den Halbirungspunkt der Breite cd geführte Gerade tn ist die neue

Mittellinie für die Rippe *D*. Benutzt man dieselbe nunmehr als *ph*, parallel zu *nt*, beim Austragen der Fußflächen *A, E, D* der zugehörigen Rippen, so lassen sich diese Flächen in ihren vor den Laibungen der Kappen liegenden Gliederungen frei und ohne gegenseitiges Einschneiden entwickeln. Allerdings treffen sich die Mittellinien der einzelnen Bogen, zumal auch die neue Mittellinie *i* durch Verlegen entstehen muß, nicht mehr in einem gemeinschaftlichen Punkte *m*. Hierdurch entsteht in statischer Beziehung der Uebelstand, daß die Schübe der einzelnen Bogen unter Umständen als Kräfte im Raume neben einem resultierenden Gesamtdrucke noch ein den Pfeiler auf Drehung beanspruchendes Kräftepaar erzeugen. Wie das meistens nicht sehr große Drehmoment dieses Kräftepaares durch eine in geeigneter Weise ausgeführte Ausmauerung der Gewölbzwinkel thunlichst aufgehoben werden kann, wird bei der Stabilitäts-Untersuchung der Pfeiler näher angegeben werden.

Bei der hier getroffenen Anordnung der zusammentretenden Rippen beginnen die Kappen unmittelbar in den in der Kämpferebene liegenden Punkten *a, b, c, d* u. f. f., so daß ein einheitliches Emporwachsen der Rippen und Kappen von der gemeinschaftlichen Kämpferebene aus eintreten kann. Der gegliederte Gewölbanfatz kann nun entweder von einer Säule getragen werden, deren Kapitelle sich in ihrer Kelch- und Deckenplattenbildung der Grundriffsfläche des Gewölbfußes anzupassen haben; oder derselbe kann auf einer Stütze ruhen, deren Querschnitt eine Gestaltung erfährt, welche ihrem Wesen nach in innigem Zusammenhange mit dem gegliederten Gewölbanfatze bleibt. Hierdurch entsteht alsdann der gegliederte Pfeiler.

Den Ausmittlungen der Fußflächen der Rippen entsprechend, ist in Fig. 488 die Gestaltung des Querschnittes eines einfachen gegliederten Pfeilers gegeben. Um für die Rippen eine hinlängliche Aufsatfläche zu schaffen, ist eine zweckdienliche Grundriffsform der Deckplatte für die Kapitellbildung am Pfeilerkörper, wie rechtsseitig in der Zeichnung angegeben ist, zu entwerfen.

Zur Ueberführung des gegliederten Gewölbanfatzes nach dem eigentlichen Pfeiler, nur getrennt durch das Pfeiler-Kapitell, dienen besonders am Pfeilerkern angefügte Säulen. Der Querschnitt derselben geht meistens über den Halbkreis hinaus. Die Säulen selbst führen den Namen Dienste. Ihre Anordnung zeigt die Seite *F* in Fig. 488. Dieselben können sowohl bei gegliederten Pfeilern mit rundem Kern, als auch bei solchen mit eckigem Kern auftreten. Wie das ganze Kapitell den Pfeilerkern mit den Diensten verbindet, wobei jeder Dienst seine besondere Kapitellbildung erhält, so sind auch weiter die Dienste und der Pfeilerkern durch eine gemeinschaftliche, im Grundrisse vieleckig gestaltete Basis, eine sog. Fußung, vereinigt, auf welcher für jeden einzelnen Dienst wiederum eine besondere Basis angeordnet ist. Meistens erhalten die Gurt-, bzw. Scheidebogen Dienste mit

Fig. 488.

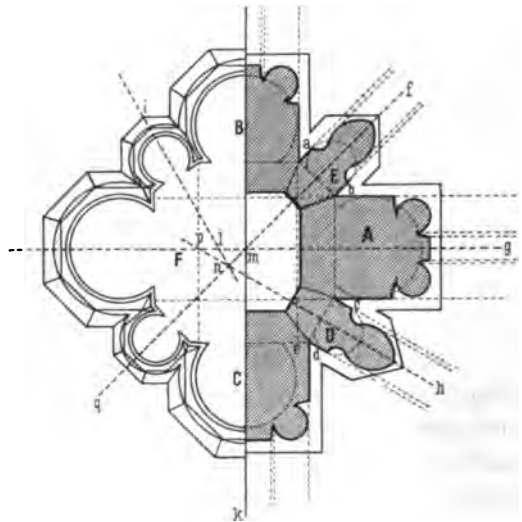
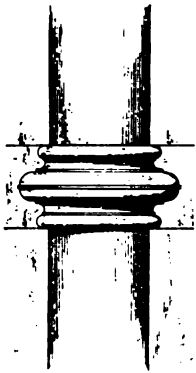


Fig. 489.

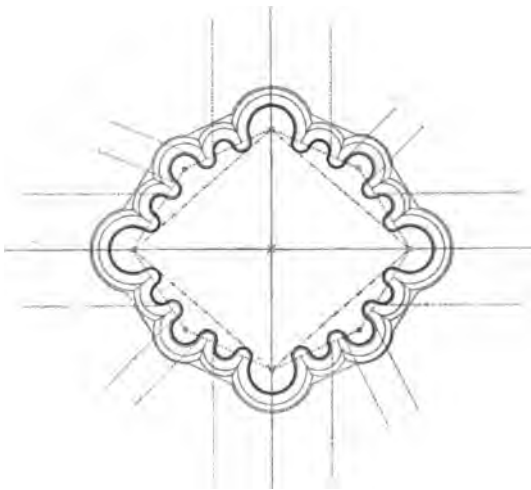


größeren Durchmesser als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienste heißen alte, die schwächeren dagegen junge Dienste.

Die in charakteristischer Weise bei diesen gegliederten Pfeilern auftretenden Dienste werden entweder bei jeder Pfeilerschicht mit angearbeitet, oder sie werden vielfach als selbständige cylindrische Stäbe behandelt und in dichter Berührung an den Pfeiler gelehnt oder selbst so angeordnet, daß sie den Pfeilerkern in geringer Entfernung frei als Säulchen umstehen.

Die selbständigen Dienste werden bei größerer Höhe außer ihrer Verbindung mit der Basis und dem Kapitell des Pfeilers oft noch mit dem Pfeilerkern durch sog. Ringe, Bunde oder Gürtel (Fig. 489) in Zusammenhang gebracht. Die Stärke und auch die Anzahl der Dienste richtet sich nach der Querschnittsentwicklung der Gurt-, Scheide- und Kreuzrippen, welchen der gegliederte Pfeiler als Stütze zu dienen hat. Da die Gurt- und Scheidebogen häufig in ihrem vor dem eigentlichen Gewölbe liegenden Querschnittstheile der Breite und Höhe nach eine ausgedehntere Entwicklung erfahren, als die Kreuzrippen (Fig. 490), so verlangen erstere an sich

Fig. 490.



stärkere Dienste als letztere. Hierbei kann die Bildung des Bogenanfanges auch selbst eine Verbindung der Gurt-, bezw. Scheidebogen mit den Kreuzrippen im Gefolge haben, welche für die Kreuzrippen keine besonderen Dienste bedingt. Diese Rippen werden dann wesentlich durch den eigentlichen Kern des Pfeilers gestützt.

Ist der Querschnitt der Gurt- oder Scheidebogen in sog. Ringen symmetrisch staffelförmig nach oben verbreitert gestaltet, so erhält auch wohl jede Staffel für sich einen Dienst. So würden für einen Querschnitt von zwei Ringen drei Dienste eingeführt werden können, von welchen der Dienst des unteren breiteren Ringes

stärker sein soll, als die daneben stehenden Dienste der beiden schmalen Staffeln des oberen Ringes. Die Beobachtung der Querschnittsbildung der Rippen und des danach zu schaffenden Grundrisses des Gewölbanfängers bedingt demnach die Zahl, die Stellung und die Abmessung der Stärke der Dienste des gegliederten Pfeilers und damit weiter die Grundform der gesamten Pfeilerbildung. In erster Linie tritt für das Festlegen dieser Grundform also die Bedingung auf, den gegliederten Pfeiler in zweckmäßiger Weise als Stützconstruction herzurichten, wenn dabei auch eine völlig regelmäßige Gestaltung der Grundform aufgegeben werden muß. Ob die erwähnte Bedingung mit einer regelmäßig gebildeten Grundform des Pfeilers in Einklang zu bringen ist, muß in jedem einzelnen Falle einer besonderen Ueberlegung vorbehalten bleiben.

Um die Grundform des Pfeilers möglichst lebendig zu gestalten, sind die einzelnen

Dienste häufig durch in den Kern des Pfeilers tretende Hohlkehlen verbunden, oder die ganze Grundform ist durch Anwendung mehrfacher Profilierungen, welche auch selbst eine Umwandlung des Kreisquerschnittes der Dienste im Gefolge hat, äusserst reich und bewegt gebildet. Die Werke der gothischen Baukunst bieten hierfür eine große Anzahl von Beispielen.

295.
Rundpfeiler
mit
Diensten.

Wird an Stelle der einfachen Säule eine solche mit angefügten Diensten zum Stützen der Bogenanfänge des Gewölbes benutzt, so entsteht der Rundpfeiler mit Diensten.

Der eigentliche Kern dieser häufig gebrauchten Pfeiler ist in seinem Querschnitte durch einen Kreis (Fig. 491) oder durch eine sonstige in sich zurückkehrende krumme Linie (Fig. 492) begrenzt. Die Bestimmung der Zahl, Stellung und Stärke der Dienste, so wie das Festlegen der Form des Kernes dieser mehr oder weniger reich gegliederten Rundpfeiler ist nach den beim eckigen Pfeiler mit Diensten gegebenen Erörterungen zu treffen.

296.
Ungegliederte
Pfeiler.

Die einfache Rundsäule oder der einfache, im Querschnitt quadratisch, rechteckig oder regelmässig vielseitig geformte Pfeiler mit entsprechender Bildung des Kapitells und der Fufung (Basis) ist, an und für sich als Stütze des Bogenanfängers betrachtet, die Grundgestalt des ungegliederten Pfeilers. Gestattet die Grundrissform des Anfängers vom Rippenkörper des Gewölbes unter fachgemäsem Zusammenziehen und Anordnen der Rippenprofile ein ungezwungenes Aufsetzen auf die geeignet umgrenzte Deckplatte des hiernach entwickelten Kapitells der Säule oder des Pfeilers, so wird in dieser einfachen Stütze unter Beobachtung ihrer geeigneten Stärke ein schätzenswerthes Constructionsglied erhalten. Erfordern größere Grundrissflächen der Bogenansätze eine wesentliche Vergrößerung des Durchmessers der Säule, bzw. des Pfeilers, so wird, wenn ein engeres Zusammenziehen der Rippenprofile nicht möglich ist, ein weit ausladendes Kapitell und unter Umständen eine übertriebene Stärke der Stütze selbst sich geltend machen. Wird auch zur Vermeidung der großen Anhäufung von Material in der Stütze und der Beseitigung der hierdurch erzeugten ungünstigen Erscheinung derselben die Bildung des gegliederten Pfeilers mit Diensten angebahnt, so ist doch häufig und namentlich bei den ungegliederten Pfeilern der Spätzeit der Gothik eine Umwandlung der Stützen der Bogenanfänge vorgenommen, wobei sowohl auf das Einfügen eines Kapitells, als auch auf eine Verbindung mit Diensten Verzicht geleistet wurde. Hierbei treten die verschiedensten Anordnungen auf. Die Rippen setzen sich, aus den Mantelflächen der Stützen abzweigend, unmittelbar an den Körper derselben, oder sie werden mittelbar durch am Stützkörper vorhandene consoleartige Auskragungen, bzw. durch kurze auf Auskragungen stehende Dienste mit oder ohne Kapitell u. s. f. getragen. Dabei durchschneiden (Fig. 493) die Mantelflächen des ungegliederten Pfeilers nicht allein die Seitenflächen der Rippenkörper, sondern auch vielfach die Gewölbfächen der Kappen, so daß im Allgemeinen eine mehr nüchterne Anordnung entsteht, wenn nicht in geschickter und künstlerischer

Fig. 491.

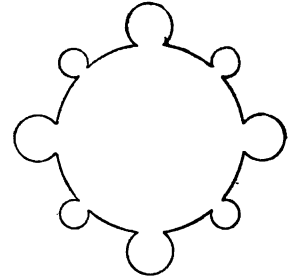


Fig. 492.

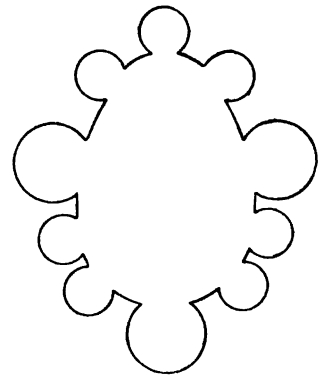
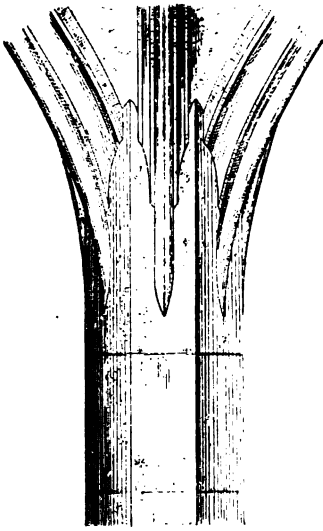


Fig. 493.



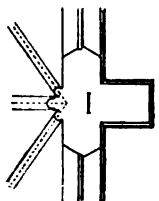
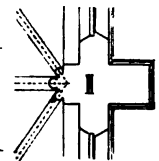
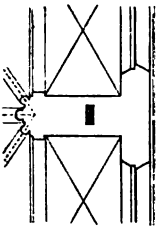
Weise für eine lebendige Verwebung des Bogenansatzes mit dem Stützkörper geforgt wird.

Die Wandpfeiler sind im Wesentlichen Theile der frei stehenden Pfeiler, welche so weit in Benutzung treten, daß eine sichere Auflagerung der Bogenansätze an den Umfangsmauern des überwölbten Raumes erreicht wird. Ihre Anordnung und Grundform richten sich also vorzugsweise nach der Durchbildung der gegliederten oder ungegliederten Pfeiler, so weit die Zahl der über den Wandpfeilern vorhandenen Theile des Bogenansatzes dabei maßgebend wird. Die Anordnung der Wandpfeiler kann in verschiedener Weise getroffen werden. Dieselben reichen entweder vom Fußboden bis zum Bogenansatz, sind dabei mit Diensten versehen, bezw. treten ohne Dienste als Pfeilervorlagen mit geringerem Vorsprunge auf, welchem unter dem Bogenansätze nur kurze Dienste auf Auskragungen angefügt sind, oder dieselben endigen in geeigneter Höhe über dem Fußboden und

sind hier als besondere Auskragungen gekennzeichnet. In jedem besonderen Falle ist die Durchbildung der Wandpfeiler in harmonischer Uebereinstimmung mit den frei stehenden Pfeilern anzustreben.

Im Stützensystem des gothischen Kreuzgewölbes nehmen die Strebepfeiler als constructive Bauglieder einen hervorragenden Rang ein. Die auf einzelne Stützpunkte der Umfangsmauern der Gewölbanlage übertragenen Gewölbschübe erfordern ein besonderes kräftiges Widerlager, welches in seiner ganzen Stärke für die zwischen den einzelnen Stützpunkten liegende Wand nicht nöthig wird, sondern vorzugsweise als ein mit der Wand in Verbindung stehender Mauerkörper als Pfeiler, Strebepfeiler genannt, anzuordnen ist.

Fig. 494.



Diese als stützende Mauerkörper herzurichtenden Strebepfeiler (Fig. 494) liegen in der Regel, wie in I, außen an der Umfangsmauer; sie können aber, wie bei II, auch theils innerhalb der Wand oder, wie bei III, ganz innerhalb des Raumes angebracht werden. In den gewöhnlichen Fällen stehen dieselben rechtwinkelig zur Umfangsmauer; bei Mauerecken (Fig. 495) entweder in der Richtung jeder Mauerflucht oder allein in der Richtung der Halbirungslinie des inneren Winkels der zusammentretenden Mauern. Für die Gestaltung des Aufrisses der Strebepfeiler ließen sich, unter ausschließlicher Berücksichtigung der günstigsten Stabilitätsverhältnisse und des damit verbundenen geringsten Materialaufwandes, mannigfache Gesichtspunkte fest stellen. Die gleichzeitige und nicht minder bedeutungsvolle Rücksicht auf die architektonische Ausbildung solcher Stützkörper bringen jene Gesichtspunkte jedoch in engere Grenzen. Im Besonderen sind die Querschnitts- und die Höhenentwickelungen der Strebepfeiler unter Beobachtung einer möglichst günstig im Inneren des Stützkörpers verlaufenden Mittellinie des Druckes vorzunehmen, welche sich als Fortsetzung des auf den Strebepfeiler gelangenden resultirenden Gewölbschubes in Vereinigung mit den Gewichts-

297.
Wandpfeiler.

298.
Strebe-pfeiler.

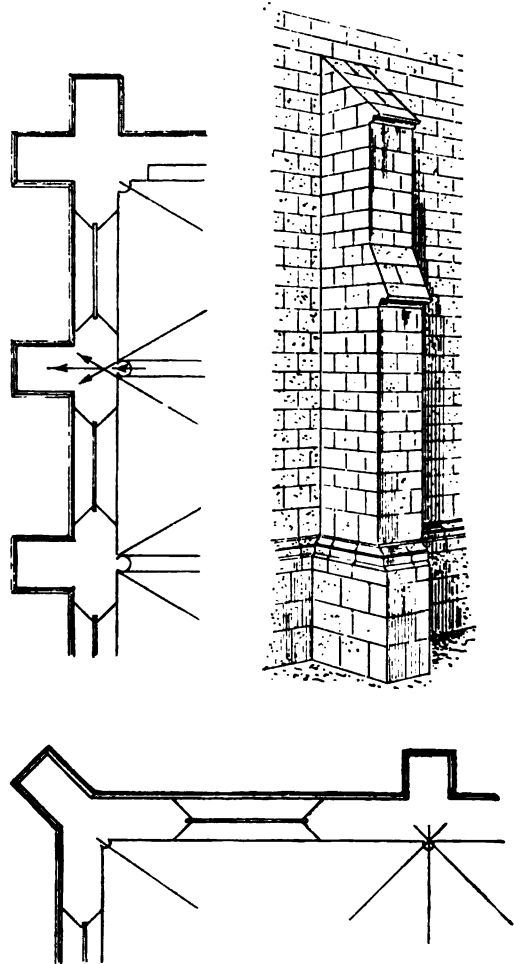
antheilen des Mauerwerkes dieser Widerlagskörper ermitteln läßt. Im Allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Absätze verbreiterte Aufrissform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektonische Behandlung im Einklange mit den statischen Anforderungen in mannigfacher Art erfolgen kann. Einfache Abschrägungen, Abdeckungen der Absätze durch Gesimsstücke, durch schräge Deckplatten, so wie die Anordnung von Wasserflücheln, von satteldachartigen Ueberdeckungen, oder das Einführen reichen Schmuckes durch Fialen an der oberen Endigung oder an einzelnen Abätzen des Strebepfeilers, das Anbringen von Figuren u. s. f. bieten hierfür, wie die Bauwerke des gothischen Stils in ausgiebiger Weise zeigen, eine Fülle von Hilfsmitteln dar.

Noch ist für die folgerechte Entwicklung der Strebepfeiler die Höhenlage der Kämpferebene der Bogen der Lichtöffnungen in der zwischen den einzelnen Strebepfeilern befindlichen Umfangsmauer in Bezug auf die Kämpferebene der antretenden Gewölbe in Betracht zu ziehen. Liegt die Kämpferebene der Fensterbogen bedeutend höher als der Gewölbefuß, wie folches bei den Bauwerken der Gothik in Deutschland und Frankreich in der Regel der Fall ist, so wird hierdurch eine größere Stärke der Strebepfeiler veranlaßt, als wenn, wie bei der Gothik in Italien sich zeigt, die Kämpferebenen der Fensterbogen und Gewölbe gemeinsam sind. Hierbei ist die Stärke der Strebepfeiler herabzusetzen; der Strebepfeiler erscheint alsdann mehr als eine äußere Mauervorlage oder Lifene.

Ein bedeutungsvolles Bauglied ist die bei der Anlage von gothischen Kreuzgewölben als wichtiges Strebefsystem eingeführte Vereinigung von Strebebogen oder Schwibbogen mit den Strebepfeilern.

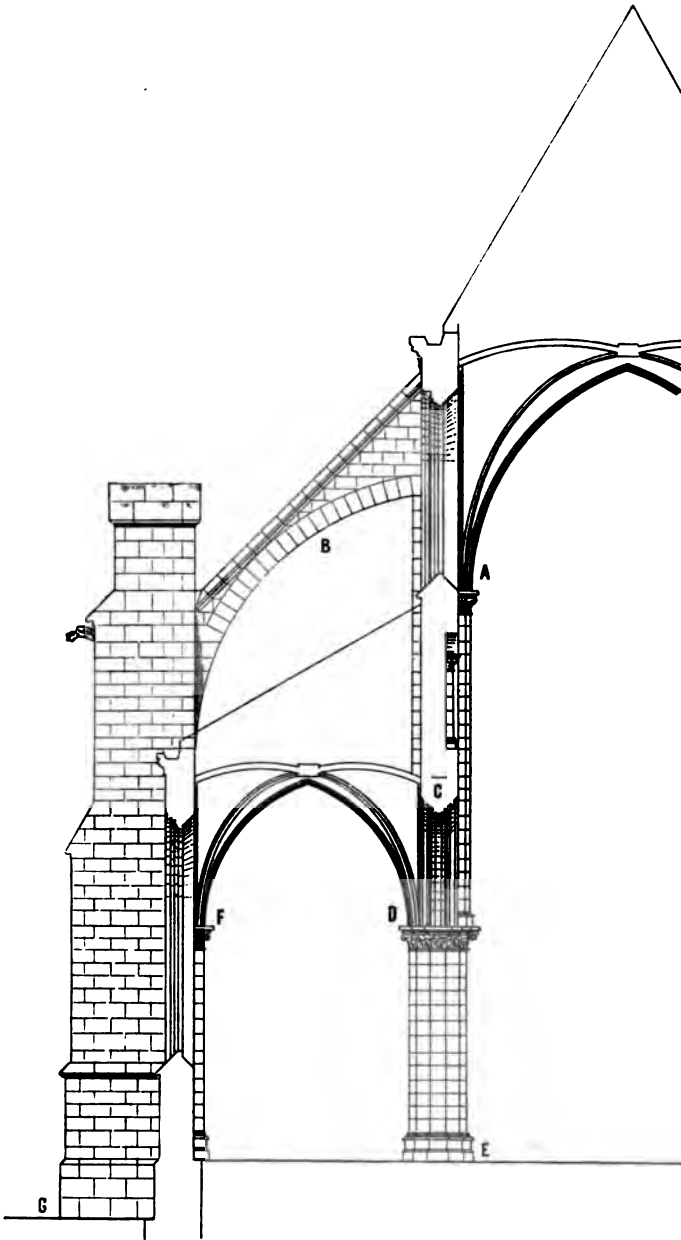
Der Aufbau der gewölbten gothischen Basilika forderte, wie in Fig. 496 angegeben, eine sichere Abstützung des vom Schube des Gewölbes *A* des Mittelschiffes beanspruchten Pfeilers *C*, bzw. *E*, ohne daß, diesem Gewölbschube entsprechend, eine an sich erhebliche Verstärkung des Pfeilers vorgenommen werden durfte. Eben so beanspruchte das in seiner Kämpferebene *DF* bedeutend tiefer als das Gewölbe des Mittelschiffes gelegene Gewölbsystem der Seitenschiffe besondere Stützkörper. Das unter zweckmäßiger Vergrößerung der Stärke dieser Stützkörper entstehende Widerlager gestattete das Einfügen eines frei über das Gewölbsystem der Seiten-

Fig. 495.



schiffe und ihrem Dachwerke hinweg ziehenden Bogens *B*, welcher als Strebe dem Gewölbschube bei *A* Widerstand zu leisten und hierzu am Strebepfeiler *G* sein weiteres Widerlager zu erhalten hatte. Hierdurch wird in vortheilhafter Weise der Schub des Gewölbes des Mittelschiffes auf die Strebepfeiler der Seitenschiffe übertragen und damit gleichzeitig eine in Rücksicht auf die Stabilität der Zwischenpfeiler *E* günstig auftretende Construction geschaffen. Wie die Wirkungsweise eines derartigen Strebe- oder Schwibbogens näher beurtheilt und wie eine möglichst günstige Form für seine Wölblinie ermittelt werden kann, wird später bei der Stabilitäts-Untersuchung derselben gezeigt werden.

Fig. 496.



Construction und Anordnung des Systems der Strebepfeiler in Verbindung mit der Anlage der Strebebogen beeinflussten als mächtiges Stützegebilde der gothischen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einschlägigen Bauwerke der Gothik sich ergibt, eine architektonische Entwicklung des Grundrisses, so wie des Aufbaues im Inneren und Aeußeren, welche die Schranken, die sich bei der Anlage der sonst bekannten Gewölbe einstellten, zu beseitigen vermochte. Nicht zu verkennen ist, dafs in Folge dieses Constructionsmittels, wobei oft durch Anwendung von zwei und mehr

Strebebogen, welche sich gegen gemeinschaftliche Strebepfeiler setzen, der wahre Zweck, die eigentlichen Stützpunkte der gewölbten Decke an den Umfangsmauern gegen nachtheilige Veränderungen zu schützen, mit einem so erheblichen Aufwande von Baukörpern erreicht ist, dafs häufig die räumliche Wirkung des Inneren der

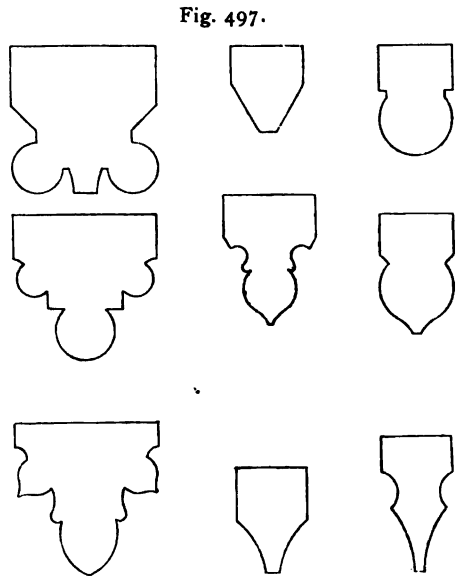
Bauanlage gegen das in weit gehender und reichster Weise gebildete äußere Constructionsgerüst zurücktritt.

Von rein statischem Gesichtspunkte aus betrachtet, kann in manchen Fällen bei feitlich neben einander gereihten, symmetrisch geordneten Gewölbanlagen mit verschieden hoch gelegenen Kämpferebenen *A* und *F* die Verstrebung der Stützpunkte *A* auch ohne Anwendung der Strebebögen *B* vorgenommen werden. Steigt der Mauerkörper *C* nicht zu bedeutend bis zu *A* hinauf, ist der Pfeiler *E* unter Berücksichtigung der von *A* und *D* antretenden Gewölbschübe an sich einer gewissen statischen Untersuchung unterzogen; so läßt sich durch eine Uebermauerung der Gurte *DF* der Gewölbe des Seitenschiffes ein unter dem Seitendache verbleibender Mauerkörper, welcher selbst in geeigneter Weise mit einer Oeffnung versehen werden kann, als günstig wirkende Stütze für das Widerlager *A* herstellen.

6) Rippen der gothischen Kreuzgewölbe.

300.
Rippen.

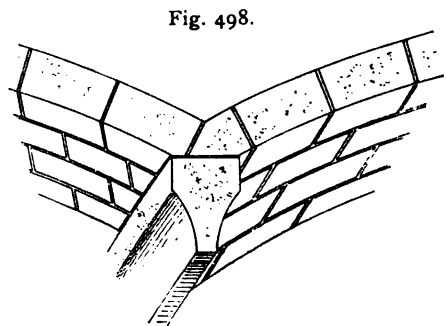
Die Rippenkörper der gothischen Kreuzgewölbe haben in erster Linie das Widerlager für die Gewölbkappen zu liefern. Sie werden an und für sich als schmale, selbständig auftretende cylindrische Gewölbe gestaltet und sind, ihrer Aufgabe gemäß, als tragende Bogen in den gesammten Gewölbkörper einzuführen. Ihrer Selbständigkeit ist in architektonischer Beziehung Ausdruck zu geben durch die vor den Gewölbfächen liegenden, entsprechend gegliederten Bestandtheile, Rippenprofile genannt. Der Querschnitt der Rippen ist in seinen Abmessungen von der Belastung abhängig, welche außer ihrem Eigengewichte durch die von ihnen getragenen Gewölbstücke entsteht; seine Form richtet sich im oberen Theile nach der Bildung der Widerlagsflächen für die Kappen, dem sog. Rückenansatz, in dem unteren vorstpringenden Theile dagegen nach der gewählten Profilirung. Diese für die Rippen allgemein geltenden Constructionspunkte kommen sowohl bei Rippen aus Quadern, als auch aus Backstein in Betracht.



Da die tragenden Rippenbögen vermöge ihrer Beanspruchung eine Gewölbestärke erhalten müssen, welche die ihnen aus architektonischen Gründen zu gebende Breite meistens übertrifft, so ist der Querschnitt der Rippen vorwiegend der Höhe nach zu entwickeln.

In Fig. 497 sind einige Rippenprofile gegeben.

Sieht man von einer Anordnung in Fig. 498 ab, wonach der Rippenkörper nur ein einfaches Auflager und kein besonders ausgebildetes Widerlager für die Gewölbkappen gewährt, so ist es geboten, den Rücken-



anfangs nach bestimmten Gefetzen zu bilden, welche mit Hilfe der folgenden Mittheilungen unmittelbar aus der Gestaltung der antretenden Kappen und vorzugsweise aus der Art ihrer Einwölbung abgeleitet werden können.

7) Einwölbung der Kappen.

Die Einwölbung der Kappen gothischer Kreuzgewölbe erfolgt hinsichtlich der allgemeinen Anordnung der Wölbschichten und der Bestimmung ihrer Lager- und Stosfugenflächen entsprechend der Gestaltung der Laibungsflächen, dem zu verwendenden Material und der Beachtung der sich in Rücksicht auf die Stabilität des Wölbkörpers geltend machenden Verhältnisse.

301.
Kappen.

Sieht man vorläufig davon ab, ob Backstein-, Quader- oder geeignetes Bruchsteinmaterial zur Ausführung der Gewölbe benutzt wird; läßt man auch ferner die Prüfung der Stabilität der Wölbkappen noch nicht in den Vordergrund treten; bemerkt man vielmehr, daß bei den gothischen Kreuzgewölben weniger cylindrische Wölbflächen, sondern vorzugsweise Gewölbkappen mit Buftung, also reine Kugelflächen oder kugelförmige Flächen mit oder ohne Stelzung als Laibungsflächen in Anwendung kommen: so kann man die folgenden Arten der Einwölbung dieser Kappen in Betracht ziehen.

a) Bufige Kappen ohne Stelzung.

Sind die Laibungsflächen der Gewölbkappen bufige Flächen ohne Stelzung, so treten hinsichtlich der Richtungen der Wölbschichten, unter Berücksichtigung einer thunlichst freihändigen Mauerung dieser Kappen, vorwiegend vier von einander verschiedene Anordnungen auf, welche sowohl für Gewölbe mit wagrechter Kämpfer-ebene, als auch für ansteigende Gewölbe volle Giltigkeit haben.

a) Die Wölbschichten sind concentrische Ringschichten. In diesem Falle sind die Laibungsflächen der Kappen zweckmäßig als reine Kugelflächen zu gestalten. Die Lagerfugenflächen der Wölbschichten sind alsdann Kegelflächen, deren gemeinschaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe ist, während die Stosfugenflächen derselben in Meridianebenen dieser Kugel liegen.

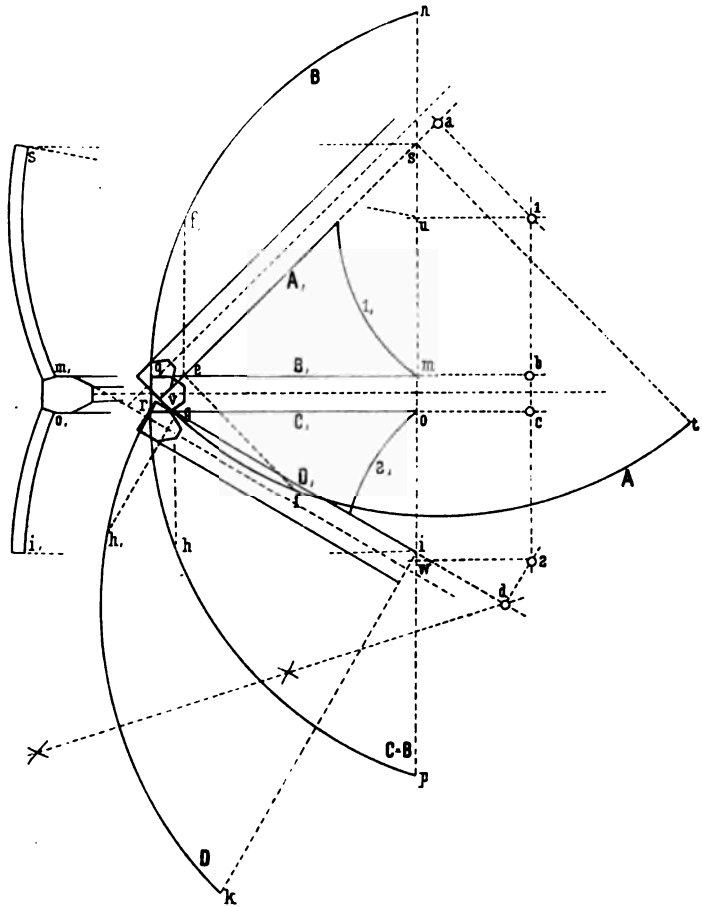
302.
Erste
Anordnung
der
Wölbschichten.

In Fig. 499 sind die Fußflächen q und r der Kreuzrippen und der Fuß v der Scheiderippe, deren Axen hier unter ungleichen Winkeln und in verschiedenen Punkten in der Kämpferebene zusammentreten, in gegenseitiger Durchschneidung fest gelegt.

Die seitlichen lothrechten Begrenzungsflächen der Rippenkörper enthalten die Widerlagslinien der antretenden Gewölbkappen. Diese Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappen mit den Seitenflächen der Rippen treffen sich je in einem gemeinschaftlichen Punkte, wovon e , bezw. g als wagrechte Projectionen erscheinen. Bei unregelmäßig zusammentretenden Rippenansätzen liegen diese Schnitte im Allgemeinen nicht in einer und derselben wagrechten Ebene. Um trotz ihrer von einander abweichenden Höhenlage für das Kappenstück ems mit der Scheitellinie ms und eben so für die Kappe goi mit der Scheitellinie oi im Hinblick auf eine einfache und gesetzmäßige Ausführung der Kappenwölbung reine Kugelflächen einzuführen, ist zunächst für die Widerlagslinie der Laibungsfläche der Kappe ems an der Seitenebene A_1 der Kreuzrippe q der Kreisbogen A mit der gewählten Höhe st um den auf der Geraden es liegenden Mittelpunkt a geschlagen. Dieser Kreisbogen wird natürlich für die Begrenzungsflächen der Profile der Kreuzrippe ebenfalls berücksichtigt. Derselbe ist aber auch der grundlegende Bogen für die Widerlagslinien an den Seiten B_1, C_1 der Scheiderippe v und an der Seite D_1 der Kreuzrippe r . Die lothrechte Projection des Schnittpunktes der Widerlagslinie A und der näher zu bestimmenden Widerlagslinie an der Scheiderippe v ist der Punkt f , und somit wird in fe die Höhenlage dieses gemeinschaftlichen Schnitt-

Fig. 499.

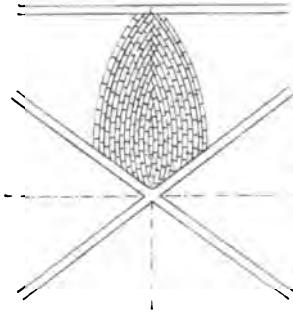
punktes über der Kämpferebene erhalten. Errichtet man in e auf eb das Loth ef_1 von der Länge ef , so ist f_1 ein Punkt des als Widerlagslinie an der Seite B der Scheiderippe zu ermittelnden Kreisbogens. Ein zweiter Punkt n dieser Widerlagslinie ist durch die Kappenhöhe mn an der Rippe v an sich gegeben oder besonders zu wählen. Hier ist mn etwas kleiner als st angenommen. Endlich muß zur Erzielung einer reinen Kugelfläche, welcher die Wölblinie A und der durch f_1 und n gehende Kreisbogen angehört, der Kugelmittelpunkt in der Grund- oder Kämpferebene, worin der Mittelpunkt a des Kreisbogens A liegt, enthalten sein. Bestimmt man also den Mittelpunkt b auf der verlängerten Geraden em für den durch $f_1 n$ gehenden Kreisbogen B , so ist hierdurch die Widerlagslinie der Kappenlaibung über ems an der Seite B_1 der Scheiderippe gefunden. Die Lothe von a auf ea und von b auf eb liefern in ihrem Schnitte r den Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe ems . Ein um r , z. B. als r_1 , beschriebener Kreisbogen ist die wagrechte Projection der Lagerkante einer Wölbfschicht; dabei aber auch die Projection eines auf die wagrechte Kämpferebene zu beziehenden Parallelkreises der Kugelfläche, so daß alle Punkte solcher Lagerkanten gleiche Höhenlage über der Kämpferebene besitzen.



Die Widerlagslinie an der Seite C_1 der Scheiderippe v muß ein Bogen C sein, welcher sich mit dem Bogen B vollständig deckt. Die Höhe op desselben ist gleich der Höhe mn , und sein Mittelpunkt c liegt in C_1 auf dem Lothe bc auf B_1 . Schlägt man um c den Kreisbogen $C = B$ und bestimmt man in dem Endpunkte h des Lothes gh auf cg die Höhenlage des Schnittpunktes der Widerlagslinien der Kappe goi an den Seiten C_1 und D der begrenzenden Rippen, so ist nun weiter, unter Benutzung des Lothes gh_1 auf gi mit der Länge gh und des Lothes ik auf gi mit der Länge st , also gleich der Höhe des Hauptbogens A , die Lage der beiden Punkte h und k gewonnen, welche dem Kreisbogen D der Widerlagslinie der Kappe goi an der Seite D_1 der Kreuzrippe r angehören. Der zugehörige Mittelpunkt ist in d auf der Geraden D_1 ohne Weiteres zu bestimmen. Nach bekannten Maßnahmen wird in a der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe goi gefunden. Der um a beschriebene Kreisbogen a_1 ist wiederum die wagrechte Projection der Lagerfugenkante einer Wölbfschicht. Die Begrenzungslinien der Profile der Rippen v und r folgen den zugehörigen Bogenlinien B , bezw. D . Die Scheitellinie der Kappe ems ist der um u beschriebene Kreisbogen ms_1 , wobei $mm_1 = mn$ und $ss_1 = st$ sein muß, während die Scheitellinie der Kappe goi der Kreisbogen oi_1 mit dem Mittelpunkte w und den Ordinaten $oo_1 = mn = op$ und $ii_1 = st = ik$ ist.

Den ermittelten Kugelflächen entsprechend, sind die Wölbfschichten in den zugehörigen Kappen als concentrische Ringfschichten leicht fest zu legen, und danach sind auch die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Schwierigkeiten zu bestimmen.

Fig. 500.

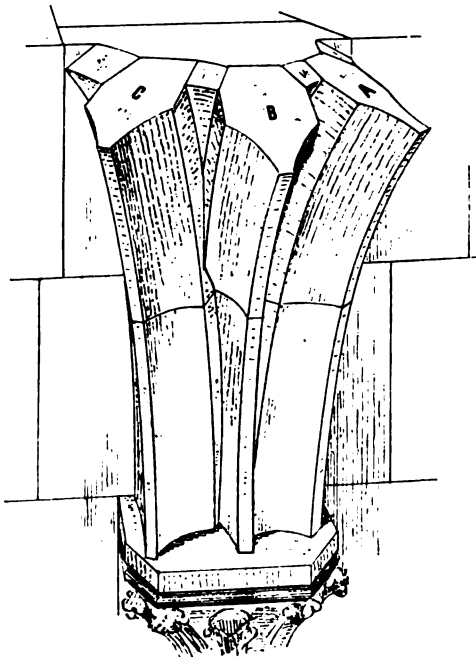


Bei der Anordnung der Wölbung nach concentrischen Ringschichten tritt über der Scheitellinie ein Zusammenschneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenschwanz-Verbandes ein. Die Größe der Halbmesser der zugehörigen Kugelflächen und die Lage der Mittelpunkte derselben beeinflusst das Zusammenfügen der einzelnen Wölbcharen über den Scheitellinien oft in besonderer Weise.

So kann nach Fig. 500 leicht eine linienförmige Lücke verbleiben, welche der Weiterführung auf Schwalbenschwanz vereinigter Schichten zuweilen wenig günstig ist. In solchen Fällen ist der verbleibende Spalt durch besonders hergerichtete Steine zu schließen.

Wie beim Zusammenschneiden der Fußflächen der Scheiderippen mit den beiden Kreuzrippen der Rippenansatz unter Verwendung von Werkstücken gebildet werden kann, möge durch Fig. 501 angedeutet werden.

Fig. 501.



Um die scharfen Schneiden der Wölbchichten am Fufse der Kappen zu vermeiden, sind die Ansätze der Kappen zweckmäfsig am Anfänger der Rippen mit anzuarbeiten. Ueber den Flächen A, B, C des Rippenansatzes erheben sich ohne Weiteres die einzelnen Rippenstücke frei als selbständige Rippenkörper, wie die Bestandtheile schmaler Tonnengewölbe, so daß zwischen denselben das Einfügen der einzelnen Wölbchichten nunmehr ohne Einengung vorgenommen werden kann.

Bei sphäroidischen, mit starker Bufung versehenen Kappen ist die Einwölbung nach Art concentrischer Ringschichten, wobei die Lagerfugenkanten je für sich in allen ihren Punkten gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, wohl möglich, aber weniger am Platze, da hierbei das freihändige Mauern oft sehr erschwert wird.

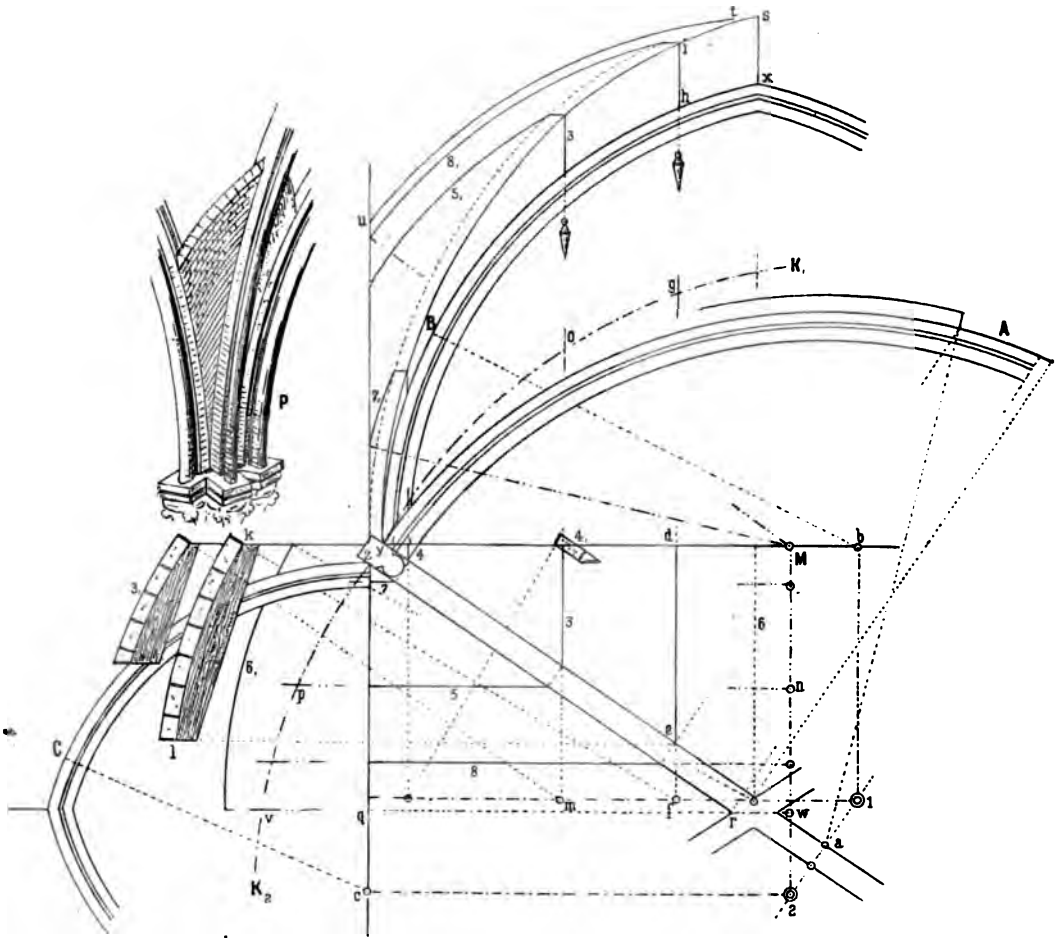
b) Die Wölbchichten sind in ihrer wagrechten Projection parallel mit der Grundrifs-Projection der Scheitellinie der Kappe. Bei dieser Anordnung entstehen streng genommen Wölbcharen, welche eine innige Verwandtschaft mit der Wölbung von cylindrischen Gewölben auf Kufverband aufweisen. Sind bei gothischen Kreuzgewölben die zwischen den Rippen liegenden Kappen cylindrisch gestaltet, so ist die erwähnte Art der Mauerung der Kappen unter Voraussetzung einer vorherigen Unterschalung mit keinen besonderen Umständen verknüpft.

Bei der Bildung der bufigen Kappen und bei der Rücksichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölbchichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerthen Einfluß auf die Gestaltung der Lager- und Stösfugenflächen der Wölbsteine.

303.
Zweite
Anordnung
der
Wölbchichten.

Ist nach Fig. 502 auf Grund der in Art. 237 (S. 348) gegebenen Mittheilungen für die Kappen die Bestimmung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten 1 und 2 nebst den zugehörigen größten Kreisen K_1 , bezw. K_2 getroffen, so lassen sich, wie sofort aus der Zeichnung entnommen werden kann, die unteren Lagerkanten der parallel zu den Scheitellinien gerichteten Wölbscharen austragen. Diese Lagerkanten gehören lothrechten Ebenen an, deren wagrechte Spuren parallel der wagrechten Projection der zugehörigen Scheitellinien sind. Die Schnittlinien dieser Ebenen mit den betreffenden Kugelflächen sind also Kreisbogen, welche als kl dem Parallelkreise mit dem Halbmesser fg , als 3_1 dem Parallelkreise mit dem Radius no , weiter als 5_1 dem Parallelkreise mit dem Halbmesser np u. s. w. angehören. Diese Kreisbogen bestimmen die Form der Wölblinie in jeder Lagerkante an der Laibungsfläche der einzelnen neben einander liegenden Wölbschichten.

Fig. 502.

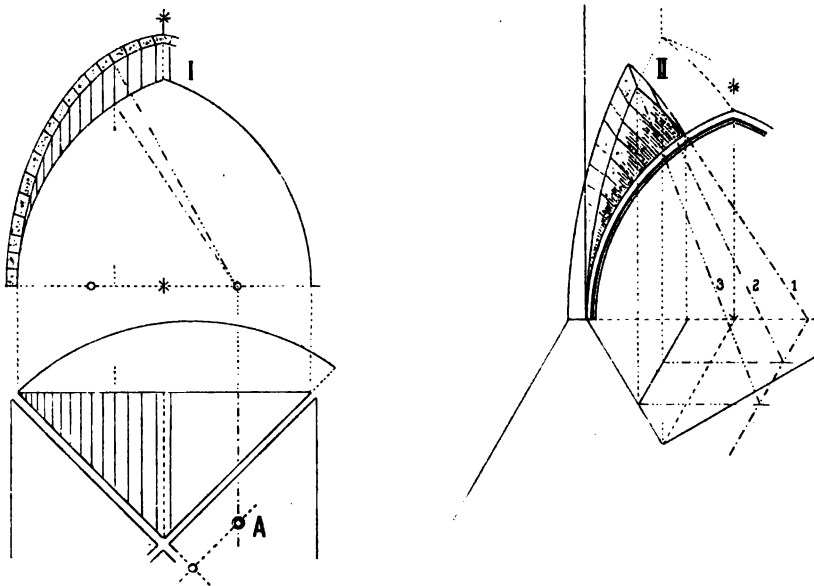


Vermöge der verhältnißmäfsig geringen Breite der Wölbscharen können dieselben in Rücksicht auf die Richtung ihrer Stofsugenflächen als schmale cylindrische Gewölbtstreifen angesehen werden, so dafs die Stofsugenflächen nicht als Kegel-
flächen, welche für alle Wölbscharen die gemeinschaftliche Spitze im zugehörigen Kugelmittelpunkte finden müßten, sondern als ebene Flächen eingeführt werden, welche, wie in kl und 3_1 , so wie beim Anfänger P angegeben ist, senkrecht zu der Wölblinie der vorderen oder hinteren unteren Lagerkante der einzelnen Wölbschichten stehen.

Anders gestaltet sich die Anordnung der Lagerfugenflächen der einzelnen Wölbscharen. In Fig. 503 ist in *I* die Theilung der Schichten am Randbogen für eine Kappenhälfte, deren Laibung die Kugelfläche mit dem Mittelpunkte *A* sei, ausgeführt und danach die Lage der Wölbschichten bestimmt. Die Kreisbogen der Lagerkanten sind die Leitlinien der Lagerfugenflächen. Die Erzeugenden dieser Fläche können als gerade Linien fest gesetzt werden, deren Lage gewissen vorgeschriebenen Bedingungen unterworfen wird. Geht der Endpunkt dieser erzeugenden Geraden stets durch den Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher der Kreisbogen der Lagerkante angehört, so entsteht bei ihrem Fortbewegen an der entsprechenden Leitlinie eine Kegelfläche als Lagerfugenfläche.

Legt man aber nach *II* (Fig. 503) durch die Kugelfläche der Kappe lothrechte Ebenen parallel zur Ebene des Randbogens, so entsteht eine zweite Schar von leicht

Fig. 503.



bestimmbaren Parallelkreisen, welche die unteren Lagerfugenkanten der Wölbschichten schneiden. Zieht man durch diese Schnitte und durch die Mittelpunkte der zugehörigen zweiten Gruppe von Parallelkreisen die erzeugenden Geraden, wie 1, 2, 3 erkennen lassen, so entsteht eine windschiefe Fläche als Lagerfugenfläche.

Im Allgemeinen kommen nur diese beiden Gestaltungen der Lagerfugenflächen in Betracht. Bei Backstein- und dünnem Bruchsteinmaterial tritt in den meisten Fällen keine besonders vorzunehmende Zurichtung der Lagerflächen in der einen oder anderen Weise ein, weil sich hierbei ein Ausgleich in der Flächenbildung durch eine entsprechende Stärke der Mörtelbänder in den Lagerfugen schaffen lässt. Bei Quadermaterial ist aber die Bearbeitung der Lagerflächen nach den gegebenen Erörterungen in strenger Weise zu veranlassen. Ob dabei Kegelflächen oder windschiefe Flächen maßgebend werden sollen, ist hinsichtlich der praktischen Zurichtung von ziemlich gleicher Bedeutung. Theoretisch genommen, verdienen die Kegelflächen bei einer Bufung der Kappen nach reinen Kugelflächen den Vorzug.

Bei einer in anderer Weise angenommenen Bufung, wovon noch unter *b* die Rede sein wird, tritt die Anordnung der windschiefen Lagerflächen ein.

Eine freihändige Ausführung der Kappen ist bei der beschriebenen Anordnung der Wölbschichten möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbstreifen auch zur Unterstützung derselben während ihrer Anfertigung, wie in Fig. 502 bei *kl* und 3_1 angedeutet ist, einfache und leichte, senkrecht unter die Wölbschichten ab und zu aufzustellende Wölbscheiben, deren obere Begrenzungslinien, wie die Lagerkanten selbst, Theile der vorhin näher bezeichneten Parallelkreise über *fg*, *mo*, *np* u. f. f. ihrer zugewiesenen Kugelflächen sind, mithin je für sich mit dem besondern Halbmesser jener Parallelkreise beschrieben werden müssen.

Nach der Bildung der Wölbschichten lassen sich die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Mühe fest legen. Diese Widerlagsflächen können nach Fig. 504 entweder wie bei *I* lothrechte Anfätze sein, oder wie bei *II* als schwalbenschwanzförmige Einschnedungen angearbeitet werden. Dieser Rückenansatz ergibt sich als zweckmäfsig bei Wölbschichten, welche gegen einen Rippenkörper ansteigen.

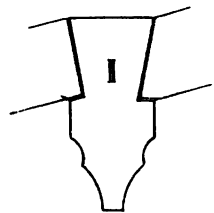
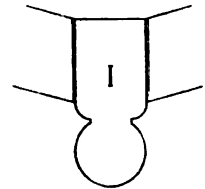
Zu bemerken ist noch, dafs im letzteren Falle die Ansatzflächen der Wölbschichten an den Rippen Kegel-, bzw. windschiefe Flächen werden und dafs ferner an den Wölbschichten, welche sich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle Schmieglflächen entstehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits in Art. 271 (S. 394) erwähnten und als ungünstig bezeichneten Schneiden an den Ansatzsteinen der Kappen bedingen, wenn nicht eine besondere, für gothische Kreuzgewölbe aber weniger in Betracht kommende Bearbeitung der Rippensteine vorgenommen werden sollte.

c) Die Lagerfugenflächen der Wölbschichten liegen in Normalebenen zum Randbogen. Für die Mauerung der bufigen Kappen aus freier Hand ist bei Verwendung von Backsteinen oder von leichten, gut zu bearbeitenden Bruchsteinen immer eine Anordnung der Schichten vortheilhaft, wonach, wie bei den Kugelgewölben, vom Gewölbefusse an, durch die geschaffene Mauerung eine Unterstützung der höher liegenden Schichten bereits geboten werden kann. Die unter *a* besprochenen concentrischen Ringschichten entsprechen dieser Forderung, während derselben bei der unter *b* mitgetheilten Schichtenlage weniger genügt wird. Ausserdem ist in Rücksicht auf die an sich vorhandenen ebenen Seitenflächen des Wölbmaterials auch die Beibehaltung ebener Lager- und Stofs-fugenflächen an sämtlichen Wölbschichten im ganzen Kappenkörper für eine einfache und leichte Ausführung der Maurerarbeit sehr erwünscht. Diese Gründe geben Veranlassung, die Wölbschichten in ihren Lagerflächen nach Normalebenen zu ordnen, welche für irgend einen hauptsächlich als Träger eines Kappenstückes auftretenden Rippenkörper fest zu legen sind.

Bei den cylindrischen Kreuzgewölben ist schon in Art. 266 (S. 389) auf die Anordnung von Wölbschichten, geregelt durch Normalebenen zum Gratabogen, hingewiesen. Ganz ähnliche Beziehungen ergeben sich auch bei den Wölbscharen der Kappen gothischer Kreuzgewölbe mit Bufung.

Liegen die Lagerflächen der Wölbschichten in Normalebenen zum Rand-, Gurt- oder Scheidebogen eines Kreuzgewölbes, dessen Kappen nach einer reinen Kugelfläche gestaltet sind, so lassen sich die Lagerkanten der Schichten, welche alsdann

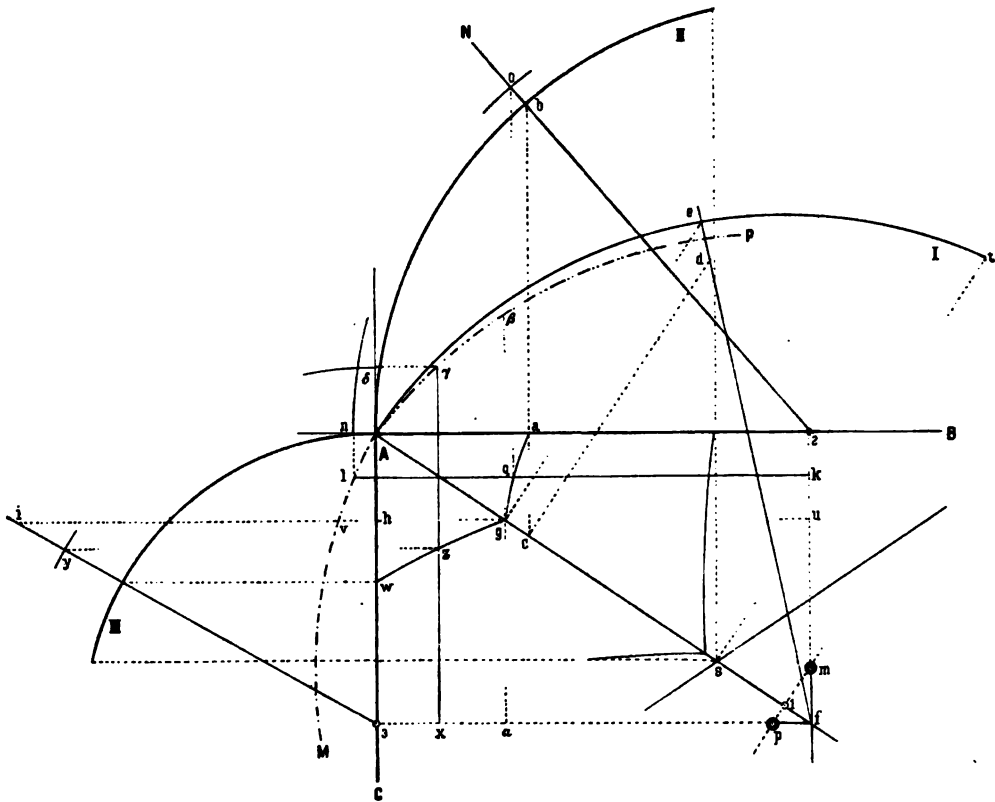
Fig. 504.



in ihrer wagrechten Projection Theile von Ellipsen werden, nach der in Fig. 505 gegebenen Darstellung leicht ermitteln.

Bei dem über einem rechteckigen Gewölbefelde angenommenen Kreuzgewölbe sei *I* der um *i* als Kreisbogen beschriebene Diagonalbogen, *II* der halbe Randbogen für *AB* mit dem Mittelpunkte *a* und *III* der halbe Randbogen für *AC* mit dem Mittelpunkte *c*. Führt man durch den beliebig gewählten Punkt *b* des Randbogens *II*, welcher hier eben so wie die Kreisbogen *I* und *III* als Schnittlinie der Laibungsflächen der Kappen mit den Rippenkörpern angesehen werden soll, eine Normalebene *N* mit der Spur *aN* in der Ebene des Randbogens *II* und der Spur *af*, senkrecht zu *AB*, in der wagrechten Kämpferebene, so ergeben sich die Schnittlinien dieser Normalebene zunächst mit der Ebene des Kreisbogens *I* als *fe*, wofür z. B. die Länge des Lothes *cd* auf *Af*, dessen Fußpunkt *c* in der lothrechten Ebene *ab* enthalten ist, gleich der Länge des Lothes *ab* genommen wurde, und sodann mit der Ebene des Kreisbogens *III* als *gi*, wofür z. B. das dem Punkte *g* entsprechende Loth *hi* auf *AC* gleich der

Fig. 505.



Strecke des Lothes *ge* auf *Af* abgetragen wurde. Die wagrechten Projectionen *a, g, w* der Schnitte der Spuren *aN, fe, gi* mit den zugehörigen Kreisbogen *II, I, III* sind Grenzpunkte der Grundriss-Projectionen der für die Normalebene *N* entstehenden Wölblinien *ag* der Kappe *sAB* und *gw* der Kappe *sAC*.

Um ohne Festlegen der Axen der Ellipsen, welche bei den hier angenommenen Kugellaibungen der Kappen zum Zeichnen der Projectionen *ag* und *gw* benutzt werden könnten, Zwischenpunkte, wie *q* auf *ag* und *z* auf *gw*, zu bestimmen, sind die größten Kreise *M* mit dem Mittelpunkte *m* für die Kappe *sAB* und *P* mit dem Mittelpunkt *p* für die Kappe *sAC* unmittelbar verwerthet.

Die parallel zu *AB* senkrecht in *kl* aufgestellte Ebene schneidet die Kugelfläche *sAB* in einem Parallelkreise mit dem Halbmesser *kl*. Derselbe trifft, um *a* mit *an = kl* beschrieben, die Spur *aN* im Punkte *o*. Die wagrechte Projection *q* auf *kl* dieses Durchganges *o* ist ein Zwischenpunkt auf *ag*.

Eben so wird die Kugelfläche *sAC* von der nach *xγ* geführten lothrechten Ebene nach einem Parallelkreise mit dem Halbmesser *γδ = xγ* geschnitten, welcher auf der Spur *gi* den Punkt *y* liefert, dessen wagrechte Projection *z* auf *xγ* einen Zwischenpunkt der Wölblinie *gw* ergibt.

Die Wölblinien, also die Lagerkanten der Wölbscharen der Kappen, sind stets Bestandtheile der größten Kreise ihrer Kugelflächen, weil dieselben in Ebenen liegen, welche durch den Mittelpunkt dieser zugehörigen Kugelflächen gehen. Außerdem haben sämtliche Normalebenen die ihnen zukommenden, rechtwinkelig zu den Ebenen der Randbogen stehenden Kugelaxen als gemeinschaftliche Schnittlinie. Danach ist also die wirkliche Gestalt für die Lagerkante in der Normalebene N der Kappe AB in dem Theile Av des zwischen den Parallelen zA und ug , bezw. uv gelegenen, zugehörigen größten Kreises M und für die antretende Lagerkante gw in dem von den Parallelen zA und $\alpha\gamma$, bezw. $\alpha\beta$ begrenzten Stücke $A\beta$ des zugehörigen größten Kreises P dargestellt.

Mit Hilfe dieser einfachen Beziehungen können die Ansatzflächen für die Kappen an den Rippenkörpern, nachdem die Eintheilung der Wölbscharen an den Randbogen vorgenommen ist, unter Berücksichtigung der normalen Stellung zu den Laibungsflächen der einzelnen Wölbscharen, welche für alle Stosfugenflächen, also auch für die Ansatzflächen unmittelbar durch die entsprechenden Meridianebenen der in Frage kommenden Kugelflächen erhalten wird, ohne besondere Umstände bestimmt werden.

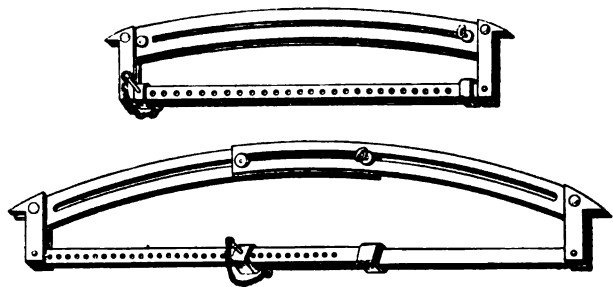
Die mit gleichem Halbmesser beschriebenen Lagerkanten der Wölbscharen, das ohne große Mühe zu bewirkende Festlegen der Endpunkte von gruppenweise zu nehmenden Wölblinien an den Rippenkörpern, die in einfacher Weise zu schaffende normale Richtung der Lager- und Stosfugenflächen ergeben für eine freihändig auszuführende Mauerung der Kappen große Vortheile. Als geeignetes Werkzeug kann beim

Fig. 506.



Wölben der Kappen ein verstellbarer Stichbogen (Fig. 506¹⁸¹), hier und dort »Säbelscheide« genannt, zum Innehalten richtiger Wölblinien oder zur Prüfung der Lage der gemauerten Wölbscharen in Gebrauch genommen werden. Die beiden neben einander liegenden, mit Nuth und Zapfen als Führung versehenen, verschiebblichen Bretter sind oben nach einem Theile des für eine Kappe ermittelten größten Kreises gerundet. Durch Zusammenschieben oder Ausziehen dieser Lehre wird für kürzere oder längere Wölbscharen die erforderliche Wölblinie erhalten. Durch die an den Stirnen dieses verstellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eisernen Winkel kann die Auflagerung seiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterstützung der Wölbscharen durch diese Wölblehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit werden diese verstellbaren Stichbogen nach Fig. 507¹⁸²) auch aus Schmiedeeisen angefertigt.

Fig. 507.



Bei der beschriebenen Anordnung der Schichten tritt über der Scheitellinie der Kappen ein Zusammenschnitt der Wölbscharen nach Schwalbenschwanz-Verband ein. Hierbei zeigt sich aber meistens ein sehr flach gegen einander tretendes Schnäbeln der zusammentreffenden Steine. Um das dann in erhöhtem Maße er-

¹⁸¹) Siehe: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française etc.* Band 4. Paris 1861. S. 106.

¹⁸²) Von OSCAR SCHACH, Altenburg S.-A. Gebrauchsmuster Nr. 2885.

forderliche Verhauen dieser Schnabelsteine über der Scheitellinie zu vermeiden, kann, wie aus Fig. 505 bei s zu ersehen ist, die Grenze für die eigentliche Einwölbung der Kappen durch einen linienförmigen Spalt gebildet werden, welcher durch kleine Gewölbstreifen, die sich rechtwinkelig nach Art des *Moller'schen* Verbandes gegen die Seitenflächen der Linse setzen, leicht zu schliessen ist. Der geschilderte Fugenschnitt der Kappen kann auch selbst in seinen Grundlagen beibehalten werden, wenn durchaus Quader als Wölbmaterial Verwendung finden sollen.

b) Die Lagerfugenflächen der Wölbschichten liegen in Normalebenen zum Gratbogen. Um die Vortheile der unter c erklärten Anordnung der Wölbschichten für die praktische Ausführung der Kappen vollständig auszunutzen und um außerdem noch einen zweckmäßigeren Zusammenstoß der über der Scheitellinie der Gewölbe zu vereinigenden Wölbscharen in möglichst rechtwinkelig auf Schwalbenschwanz-Verband geordneten Wölbsteinen zu erzielen, ist die Anlage der Wölbschichten nach Normalebenen zum Grat- oder Diagonalbogen vorzugsweise geeignet. Diese Anordnung findet denn auch bei den gothischen Kreuzgewölben, deren Kappen aus Backsteinen oder geeigneten Bruchsteinen ausgeführt werden sollen, gleichgiltig, ob die Bufung dieser Kappe einer Kugelfläche oder einer anderen gesetzmäßig gebildeten Fläche entspricht, in der Regel die weit gehendste Anwendung.

305.
Vierte
Anordnung
der
Wölbschichten.

Wird zunächst die Gewölbebildung mit Kappen, deren Laibungsflächen in bekannter Weise als Kugelflächen gestaltet sind, betrachtet, so mögen in Fig. 508 die Kreisbogen A mit dem Mittelpunkte a , B mit dem Mittelpunkte b und C mit dem Mittelpunkte c die Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappenstücke I und II an den Randbogen, bzw. an der Diagonalrippe sein. Für diese Diagonalrippe ist die Breite cc_1 im Grundrisse angenommen. Der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe I wird in der wagrechten Kämpferebene in i erhalten; der größte Kreis dieser Kugel mit dem Halbmesser ie ist als ek_1 angegeben.

Für die Kugelfläche der Kappe II ist a in der Kämpferebene der Mittelpunkt, af der Halbmesser und fk_2 ein Stück ihres größten Kreises. Irgend eine durch den Kreisbogen C gelegte Normalebene N mit der Spur cd in der Ebene der Anschlußlinie C an der Diagonalrippe und der rechtwinkelig in c auf cc stehenden Spur acg in der wagrechten Kämpferebene, welche zugleich die Axe der Kugelflächen der Kappen I und II ist, durch welche die sämtlichen Normalebenen des Bogens C gehen, schneidet als Meridianebene diese beiden Kugelflächen je für sich nach den schon bestimmten größten Kreisen k_1 , bzw. k_2 . Hierdurch ist bereits die wirkliche Gestalt der unteren Lagerkanten der Wölbschichten erhalten, und in Folge hiervon kann, wie in E und D gezeigt ist, nach Angabe der Kappenstärke und der Breite der Diagonalrippe sofort unter Benutzung der zugehörigen Kugelmittelpunkte i und a der sog. Normalschnitt in wahrer GröÙe unter Einführung des Rückenansatzes, so wie der Profilierung am Grat äußerst leicht ausgetragen werden. Sämtliche Stoßfugenflächen der Wölbschichten gehören wiederum Meridianebenen der betreffenden Kugelflächen an. Hiermit ist eigentlich das Nothwendige für die praktische Ausführung der Wölbung der Kappen und für die Bestimmung der Ansatzflächen an den einzelnen Rippen vollständig gegeben.

Die Lagerflächen folgen stets den Normalebenen zum Grat. Geübte Maurer sind im Stande, die richtige Stellung dieser Ebenen bei dem freihändigen Aufbau der Kappen inne zu halten. Wird zur Aufrechterhaltung der wirklichen kreisförmigen Lagerkanten als Hilfsmittel die in den Fig. 506 u. 507 gegebene verstellbare Lehre benutzt, so können bei einiger Sorgfalt unregelmäßige Gestaltungen in den Wöblinien und damit in den einzelnen Kugelflächen durchaus vermieden werden.

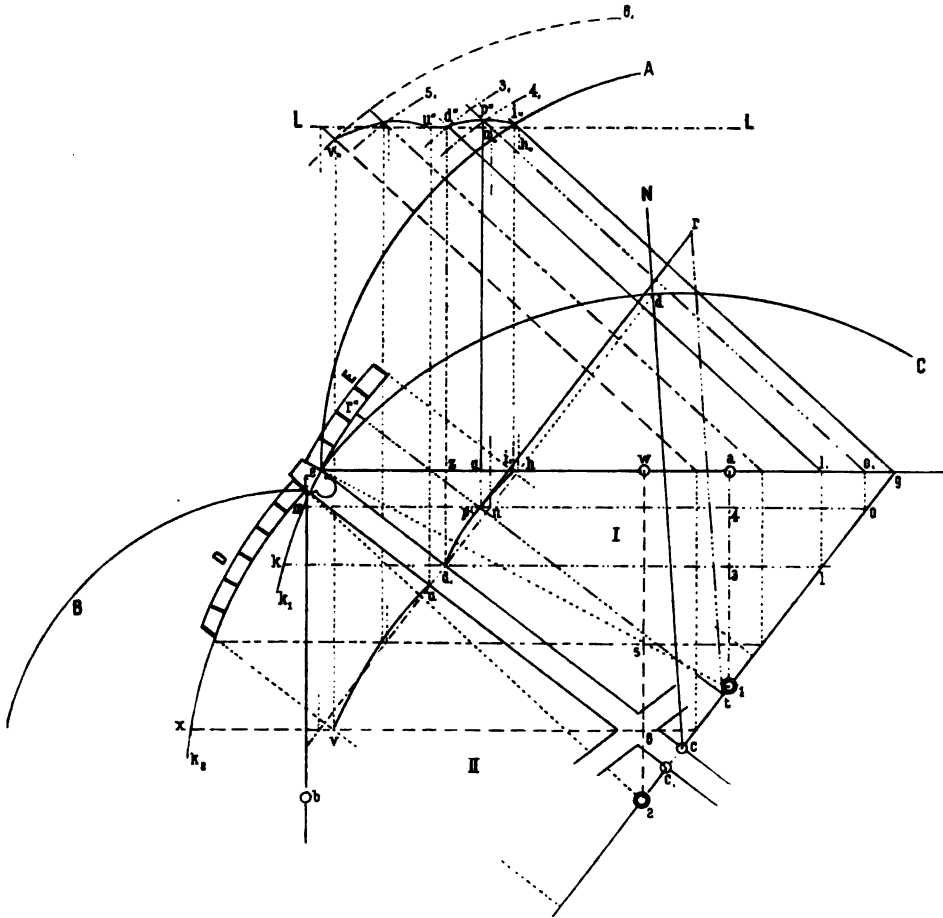
Erscheint es erwünscht, für später unverputzte Kappenflächen einen streng richtigen Verband und einen regelrechten Verlauf der Lagerkanten der Wölbschichten zu wahren, so sind die Projectionen der Lagerkanten für mehrere Normalebenen zum Diagonalbogen durch Zeichnung zu ermitteln, um hierdurch die Lage ihrer Anschlußpunkte, wie i am Randbogen A , oder auch wie v an der Scheitellinie der

Kappe II angeben zu können. Namentlich ist das nach der Zeichnung vorgenommene wirkliche Uebertragen einer Gruppe von Anschlusspunkten auf die Randbogen für eine regelmässige Gestaltung der Kappenwölbung von Vorteil.

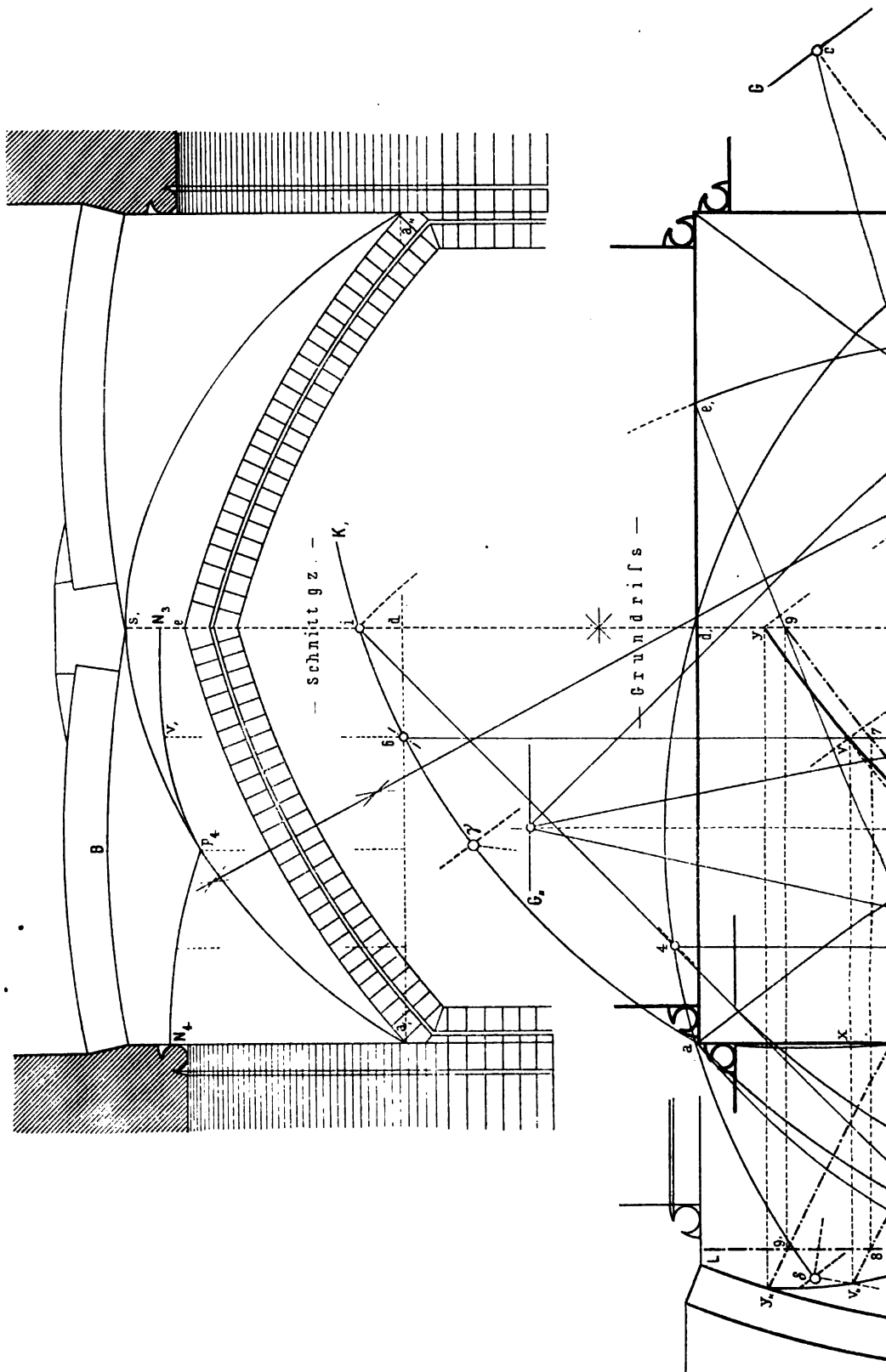
In Fig. 508 ist die wagrechte Projection $d_1 i_1, uv$, so wie die lothrechte Projection $d_{II} i_{II}, u_{II} v_{II}$, der Wöblinie gezeichnet, welche eine durch den beliebig genommenen Punkt d des Bogens C geführte Normalebene N auf den Kappenflächen hervorruft.

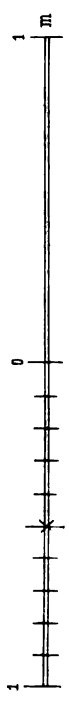
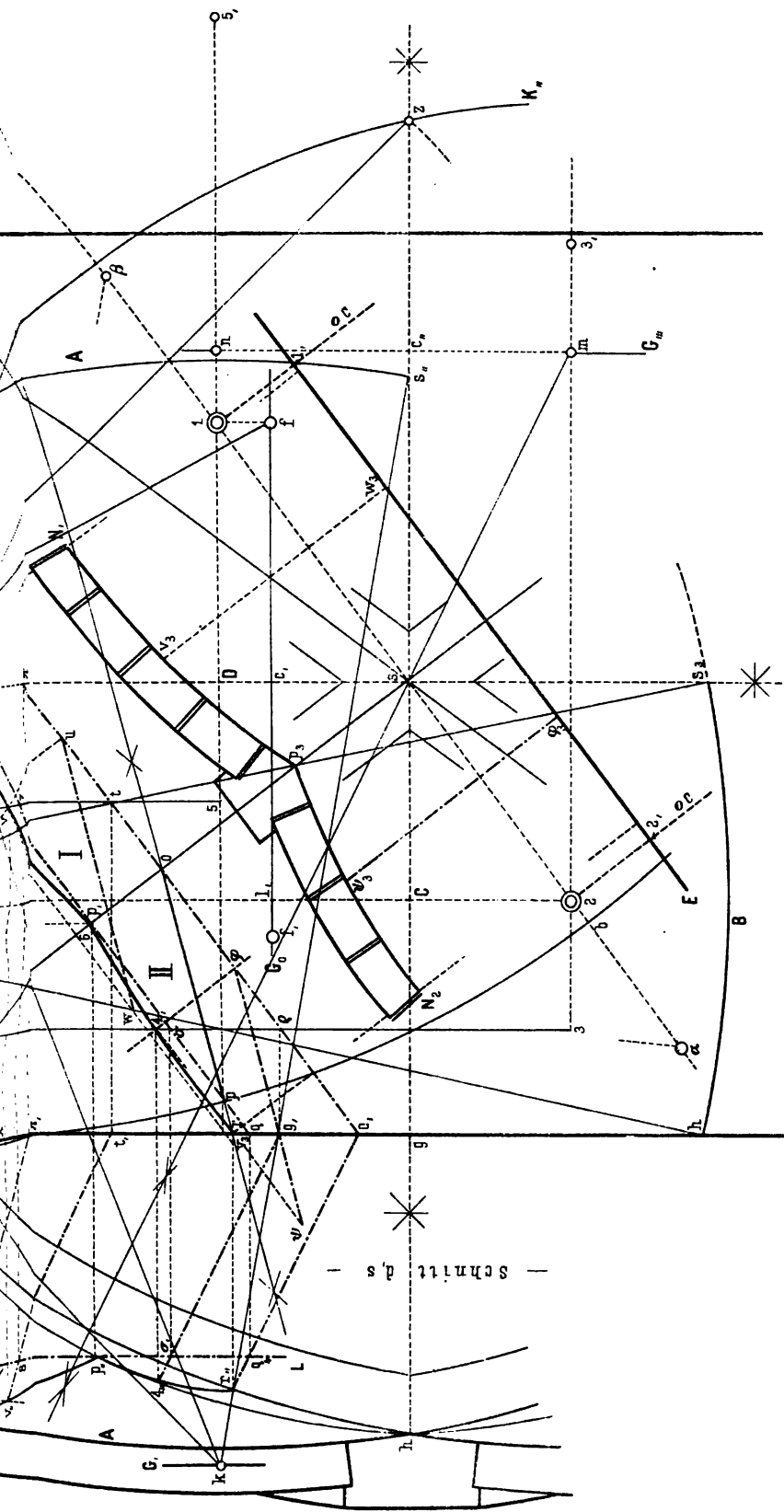
Die Punkte d_1 und u ergeben sich ohne Weiteres auf ec , bezw. fc_1 als wagrechte Projectionen des Punktes d . Die Grenzpunkte i und v sind in folgender Weise bestimmt. Eine durch d geführte wagrechte Ebene schneidet die Normalebene N in einer wagrechten Geraden. Die lothrechte Projection LL

Fig. 508.



dieser Geraden in der lothrechten Ebene des Bogens A ist parallel zu ea im Abstände $ed = d_1 d$ zu führen, während die Grundriss-Projection $hd_1 u$ derselben parallel zur wagrechten Spur ga der Normalebene N zieht. Die zu h gehörige lothrechte Projection h_{II} auf der Geraden LL liefert in Verbindung mit dem Punkte g die Spur gh_{II} , der Normalebene N in der Ebene des Bogens A . Die Verlängerung dieser Spur gh_{II} , bis zum Bogen A liefert den Schnitt i_{II} , als lothrechte Projection des Anschlusspunktes der gefuchten Wöblinie. Die wagrechte Projection ist i_1 auf ea . Um einen Zwischenpunkt dieser Wöblinie zu ermitteln, ist eine lothrechte Ebene parallel zur Ebene des Bogens A , z. B. nach mo , geführt. Dieselbe wird im Grundriss in n von der wagrechten Projection $hd_1 u$ der vorhin gekennzeichneten Geraden LL durchstoßen. Die lothrechte Projection n_{II} dieses Durchstoßpunktes auf LL giebt in Verbindung mit o_1 , welcher dem Schnitte o der Geraden mo mit der Spur ga der Normalebene N entspricht, offenbar die lothrechte Projection n_{II}, o_1 der Schnittlinie dieser Normalebene mit jener nach mo aufgestellten lothrechten Ebene. Letztere schneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreise mit dem





Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen
über rechteckigem Gewölbefelde.

Halbmesser φm . Wird mit diesem Halbmesser um a ein Kreisbogen φ_1 beschrieben, so schneidet derselbe die gehörige verlängerte Gerade $n_{11}o_1$ im Punkte p_{11} , wodurch die lothrechte Projection eines Zwischenpunktes für die in Frage kommende Wölblinie gefunden ist. Die wagrechte Projection desselben ist p_1 auf mo . Auf dem beschriebenen, in der Zeichnung weiter zu verfolgenden Wege sind beliebig viele Punkte der Wölblinie zu ermitteln. Zu beachten ist nur, daß für die Kappe II in Bezug auf uv der größte Kreis k_2 bei der Bestimmung der in Anwendung zu bringenden Parallelkreise zu berücksichtigen ist und daß ferner die Mittelpunkte dieser Gruppe von Parallelkreisen in dem von s auf ea gefallen Lothe sw liegen. So ist z. B. der Parallelkreis ϕ_1 um w mit dem Halbmesser ϕx zu beschreiben.

Bei der praktischen Ausführung der Kappenwölbung ist es zuweilen erwünscht, die lothrechte Höhenlage gewisser Punkte dieser oder jener Wölblinie über der wagrechten Kämpferebene inne zu halten, ohne die vollständige wagrechte und lothrechte Projection einer solchen Wölblinie zu zeichnen. Man benutzt für diese Ausmittlung unmittelbar den Normalschnitt DE .

Soll z. B. die lothrechte Höhenlage des beliebigen Punktes r_{11} einer Wölblinie, welche einem beliebigen Normalschnitte N angehört, dessen Spuren in cd und ag fest gelegt sind, über der Kämpferebene gefunden werden, so fälle man von r_{11} das Loth $r_{11}t$ auf ag , ziehe durch t einen Strahl tr parallel zu cN und schneide $tr = tr_{11}$ ab. Das von r auf $r_{11}t$ gefällte Loth rp_1 ist die gesuchte Höhe. Gleichzeitig ist in p_1 auf $r_{11}t$ auch die wagrechte Projection eines Zwischenpunktes der einer Ebene N angehörenden Wölblinie erhalten.

Für die Richtigkeit dieses Verfahrens gelten die folgenden Gründe. Eine lothrechte Ebene, welche parallel zu der Ebene cc des Bogens C nach einer wagrechten Spur $r_{11}t$ geführt ist, schneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreise, dessen Mittelpunkt t auf der jetzt in Frage kommenden Kugellaxe cs , bzw. ag liegt, dessen Halbmesser unter Berücksichtigung des größten Kreises dieser Kugelfläche gleich tr_{11} wird. Dieser Halbmesser ist in der Normalebene N eine Parallele zum Halbmesser cd der gleichfalls als Parallelkreis auftretenden Schnittlinie C der lothrechten Seitenebene der Diagonalrippe, so daß nach dieser Benutzung der Kugelfläche der Kappe I die Höhenlage des Punktes r in einfachster Weise zu finden ist.

Wie sofort zu erkennen, kann das soeben angegebene Verfahren auch zur Bestimmung der wagrechten und lothrechten Projectionen der Wölblinie angewendet werden, welche irgend einer Normalebene N zukommt.

Für das Einwölben der Kappen der gothischen Kreuzkappengewölbe oder der flachen Kreuzgewölbe, deren Gestaltung im Art. 290 (S. 421) besprochen wurde, ist ebenfalls die Bildung der Wölbschichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen vorwiegend in Gebrauch zu nehmen.

Die Ausmittlung des sog. Normalschnittes und die Bestimmung der Projectionen der zugehörigen Wölblinien ist nach den im Vorhergehenden angeführten Grundlagen zu bewirken. Ihre Anwendung soll in der Zeichnung auf neben stehender Tafel noch näher gezeigt werden.

Ein rechteckiges Gewölbefeld von 4 m Länge und 3 m Breite ist mit einem Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen von 1 m Pfeilhöhe unter Anwendung von Backsteinmaterial zu überdecken. Die Bogenlinie der nicht profilirten Diagonalrippen ist ein flacher Kreisbogen, welcher zur Hälfte als ab seitlich von as mit der Pfeilhöhe $sb = 1$ m gezeichnet ist. Der Mittelpunkt c dieses Kreisbogens, welcher also nicht als Spitzbogen auftreten soll, liegt auf der verlängerten Geraden bs . Eine durch c parallel zu as geführte Gerade G bestimmt die wagrechte Grundebene, worin außer c auch sämtliche Mittelpunkte der Kugelflächen der Laibungen der Kappen, mithin auch die Mittelpunkte ihrer Schnittlinien mit den lothrechten Seitenebenen der Rand- oder Gurtbogen des Gewölbefeldes liegen. Der Abstand dieser Grundebene oder Mittelpunktsebene von der wagrechten Kämpferebene ergibt sich als sc .

Im Schnitte nach gz ist die Kämpferebene durch die wagrechte Gerade a_1a_{11} bestimmt, während dieselbe in dem Schnitte d_1s gleich durch die schon vorhandene Gerade ag fest gelegt ist. Die in d_1 , bzw. g zu den entsprechenden Geraden errichteten Lothe ds_1 , bzw. gh sind gleich der Pfeilhöhe sb , so daß s_1 , bzw. h die lothrechten Projectionen des Gewölbscheitels sind. Trägt man auf der Verlängerung von s_1d die Strecke dc_1 gleich der Strecke sc ab, so giebt die durch c_1 parallel zu a_1a_{11} gezogene Gerade G_0 die Lage der Grundebene in Bezug auf den Schnitt gz an, wie auch nach Abtragen der Strecke sc

von g nach c , auf der verlängerten Geraden hg in der durch c , parallel zu ag geführten Linie G , die für den Schnitt d, s maßgebende Grundebene erhalten wird.

Die Schnittlinie der Laibungsfläche der Kappe I an der schmalen Rechtecksseite soll ein flacher Spitzbogen a, ea , sein, dessen Pfeilhöhe de kleiner als die Pfeilhöhe ds , des Gewölbes selbst sein möge. Berücksichtigt man nur die Hälfte a, e dieses mit dem Flachbogen der Diagonalrippe über as im Kämpferpunkte a , zusammentretenden Spitzbogens, so ergibt sich nach bekannter Construction in f auf G_0 der Mittelpunkt für den Kreisbogen a_1e . Nimmt man auf G_0 die Strecke $c, f = c, f_1$, so ist f , der Mittelpunkt der anderen Hälfte ea , jenes Spitzbogens. Aus diesen Mittelpunkten sind, wie der Schnitt gs zeigt, auch die concentrischen Begrenzungslinien der Profile des vorspringenden Rand- oder Gurtbogens zu beschreiben. Errichtet man nunmehr in f das Loth f_1 auf G_0 , so schneidet dasselbe das in c auf G vorhandene Loth cb im Punkte i . Dieser Punkt ist die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung des Kappenstückes I . Der Mittelpunkt der Kugel selbst liegt um die Strecke sc senkrecht unter der Kämpferebene. Eine durch den Punkt i geführt gedachte lothrechte Kugelaxe ergibt im Durchstoßpunkte i mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines dieser Kugelfläche angehörenden Parallelkreises K , dessen Halbmesser nun als ia bestimmt ist. Um die Größe des Halbmessers der Kugel zu finden, ist nur durch i eine Parallele $i\gamma$ zu as bis zum Schnitte mit K , in γ zu ziehen, auf dem Lothe ca zu as , bzw. zu $i\gamma$ die Strecke $ia = sc$ abzutragen, wonach in $\alpha\gamma$ dieser Halbmesser erhalten wird.

Nach dieser Ausmittlung ist die Kugelfläche des Kappenstückes I vollständig fest gelegt. Für das Austragen der Scheitellinie A über d, s ist von i das Loth ik auf c, d , zu fällen und auf demselben die Strecke $Dk = sc$ abzuschneiden. Die durch k parallel zu c, d , gezogene Gerade G , ist wiederum als Grundebene anzusehen. Der verlängerte Strahl c, d , trifft den Parallelkreis K , in i ; folglich ist ki der Halbmesser der um k als Kreisbogen zu beschreibenden Scheitellinie A . Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung muß sich, nachdem der Bogen A geschlagen ist, die Länge d, e , gleich der Pfeilhöhe de des Spitzbogens a, ea , im Schnitte gs und die Länge ss , gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens herausstellen. Der Bogen A ist danach im Schnitte d, s eingetragen. Die Schnittlinie der Wölbfläche der Kappe II möge ein flacher Spitzbogen sein, dessen Pfeilhöhe gh gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens ist. Für die Hälfte ah dieses Spitzbogens ist unter Benutzung der bereits angegebenen Grundebene G , in m der zugehörige Mittelpunkt bestimmt. Der Schnitt a des in m auf G , errichteten Lothes mit dem Strahle csa ist die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung der Kappe II . Entsprechend den bei der Kugelfläche I angestellten Betrachtungen wird der um a mit dem Halbmesser aa beschriebene Kreis K , ein in der Kämpferebene gelegener Parallelkreis dieser zweiten Kugel. Der Kugelhalbmesser ergibt sich als $\beta\delta$. Hierzu ist durch a eine Parallele zu as zu legen, um ihren Schnitt δ mit dem Parallelkreise K , zu erhalten, und weiter $a\beta = sc$ auf ac abzuschneiden, wodurch $\beta\delta$ gefunden wird. Für die Scheitellinie B über sg ist auf dem von a auf sg gefällten Lothe die Strecke $Cl = sc$ abzusetzen, so daß G , Grundebene und i Mittelpunkt für den Kreisbogen B wird. Der Schnitt s der verlängerten Geraden gs mit dem Parallelkreise K , bestimmt die Länge des Halbmessers is der Scheitellinie B . Als Probe der Richtigkeit dieses Bogens muß jetzt $ss_3 = sb$ und eben so, da die Pfeilhöhe des Randbogens $ah = sb$ genommen war, $gh = sb$ gefunden werden. Im Schnitte gs ist dieser Bogen B wiederum berücksichtigt.

Da die Halbmesser $\alpha\gamma$ für die Kugelfläche I und $\beta\delta$ für die Kugelfläche II bekannt geworden sind, so ist hierdurch für alle Normalschnitte zum Grathbogen das zum Austragen ihrer wirklichen Größe Erforderliche erreicht. Die Wöblinien von sämtlichen Normalschnitten sind Theile der mit den Halbmessern $\alpha\gamma$, bzw. $\beta\delta$ zu beschreibenden größten Kreise ihrer Kugelflächen. So ist auch für den Normalschnitt pc die Wöblinie p_3N_1 mit dem Halbmesser $\alpha\gamma$, die Wöblinie p_3N_2 mit dem Halbmesser $\beta\delta$ zu beschreiben, wobei die Mittelpunkte der einzelnen in p_3 sich schneidenden Kreisbogen in den durch i , bzw. durch a senkrecht zu ac geführten, hier nicht weiter verlängerten Strahlen oc liegen.

Sollen, wie in der Zeichnung geschehen, sämtliche Projectionen der durch eine Normalebene, z. B. pc , des Diagonalbogens ab auf den Wölbflächen I und II entstehenden Schnittlinien dargestellt werden, so kann dazu der folgende Weg dienen. Die durch die wagrechte Projection p , des Punktes p senkrecht auf as gehende Gerade qq sei die Grundriß-Projection einer durch p geführten wagrechten Linie, deren lothrechte Projection im Schnitte d, s durch Lp , L gegeben ist. Die wagrechte Spur πo , der Normalebene pc geht in der Kämpferebene rechtwinkelig zu as durch den Punkt o . Führt man zur Bestimmung irgend eines Punktes der durch die Normalebene pc auf der Kugelfläche I hervorgerufenen Schnittlinie beliebig eine lothrechte Ebene parallel zur Seitenebene ag , z. B. nach $s\delta$, so wird die durch qq und πo , gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projectionen $i\gamma$ und i, δ getroffen, während die

Kugelfläche I von jener lothrechten Ebene nach einem Kreise geschnitten wird, welcher als Parallelkreis der Kugel I mit dem bekannt gewordenen Punkte δ auf K , erscheint. Eine lothrechte Axe derselben geht durch r in der Kämpferebene. Trägt man also auf dem Strahle sr die Strecke $ss' = sc$ ab, so ist s' der Grundebene des für sb entstehenden Parallelkreises zuzuweisen, wonach sich in s', b der Halbmesser dieses Parallelkreises ergibt. Für den Schnitt d, s ist aber G_{III} die Grundebene. In derselben ist durch n der Durchstoßpunkt jener mehrfach erwähnten, den Punkt r enthaltenden lothrechten Kugelaxe bestimmt. Beschreibt man daher um n mit dem Halbmesser sb einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade t, s des Schnittes d, s im Punkte v , trifft, so ist hierdurch die lothrechte Projection eines Punktes der gefuchten Wöblinie auf der Kappenfläche I gefunden. Die wagrechte Projection dieses Punktes ist v auf der Geraden sb . Für die Lage des entsprechenden Punktes v_3 im Normalschnitte $N p_3 N_3$ ist $w_3 v_3$ gleich dem wirklichen Abstände innerhalb der geneigten Normalebene von der Kämpferebene E , also gleich der Hypotenuse uw des rechtwinkligen Dreieckes uvw , dessen Kathete vw gleich der Höhe xv , ist und wobei außerdem die Kathete uv parallel zu as gerichtet sein muß. Für einen Punkt der auf der Fläche II durch die Normalebene erzeugten Wöblinie kommt der Parallelkreis K_{II} in Betracht. So ist z. B. für das Festlegen des Punktes q_{II} im Schnitte d, s zunächst 34 parallel zu ag gezogen, alsdann $33' = sc$ genommen und endlich um m mit dem Halbmesser von der Länge $3, 4$ ein Kreisbogen geschlagen, welcher die verlängerte, hier in Frage kommende Gerade g, s , im gefuchten Punkte q_{II} , trifft. Hiernach ergibt sich q_{II} auf 34 als ein Punkt der wagrechten Projection der zugehörigen Wöblinie. Im Normalschnitte ist $\varphi_3 \psi_3$ gleich der Hypotenuse $\varphi \psi$ des rechtwinkligen Dreieckes $\varphi w \psi$, worin $w \psi$ gleich der Höhenlage des Punktes q_{II} , über ag ist. Nach diesen Angaben können beliebig viele Punkte der Wöblinien eines Normalschnittes pc bestimmt werden.

Für die Ausführung der Gewölbekappen aus Quadern wird zur Herstellung eines ordnungsmäßigen, in gutem Verbande stehenden Fugenschnittes der Wölbsteine das Zeichnen der Wöblinien im Aufriss, vorzugsweise aber im Grundriss erforderlich.

306.
Wölbung
aus
Quadern.

Bei der Anordnung der Lagerflächen nach Normalebenen zum Diagonalbogen sind die unteren Lagerkanten bei Kappen mit Kugellaubungen einfach Theile eines größten Kreises. Sämmtliche Normalebenen gehen durch die Kugelaxe, welche rechtwinklig zur Ebene des Diagonalbogens steht. Je nach der Neigung der einzelnen Normalebenen erscheinen also die Grundriss-Projectionen jener Lagerkanten zwischen den Grenzlagen, nämlich der geraden Linie (Kugelaxe) für die lothrechte Stellung der Normalebene und dem Kreisbogen (Theil des größten Kreises) für die wagrechte Lage derselben, als Stücke von Ellipsen. Durch die an sich einfache Bestimmung der Axen dieser verschiedenen Ellipsen wird eine bedeutende Erleichterung für das Festlegen der Grundriss-Projection der Lagerkanten der einzelnen Wölb-schichten herbeigeführt. In Fig. 509 sind die hierfür in Frage kommenden Darstellungen gegeben.

Für ein rechteckiges Gewölbefeld ist der um a beschriebene Kreisbogen A die Ansatzlinie des Kappenstückes qds , der um b geschlagene Kreisbogen B die Randlinie des Kappenstückes rds und der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die Schnittlinie beider Kappentheile an dem hier unprofilirt genommenen Diagonalbogen.

Man findet in 1 den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe qds mit dem größten Kreise K_1 und dem Halbmesser $1d$, in 2 den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe rds mit dem größten Kreise K_2 und dem Halbmesser $2d$. Die beiden Kugeln gemeinschaftliche, senkrecht auf der Ebene des Diagonalbogens C stehende Axe ist die durch 1 und 2 gehende Gerade III .

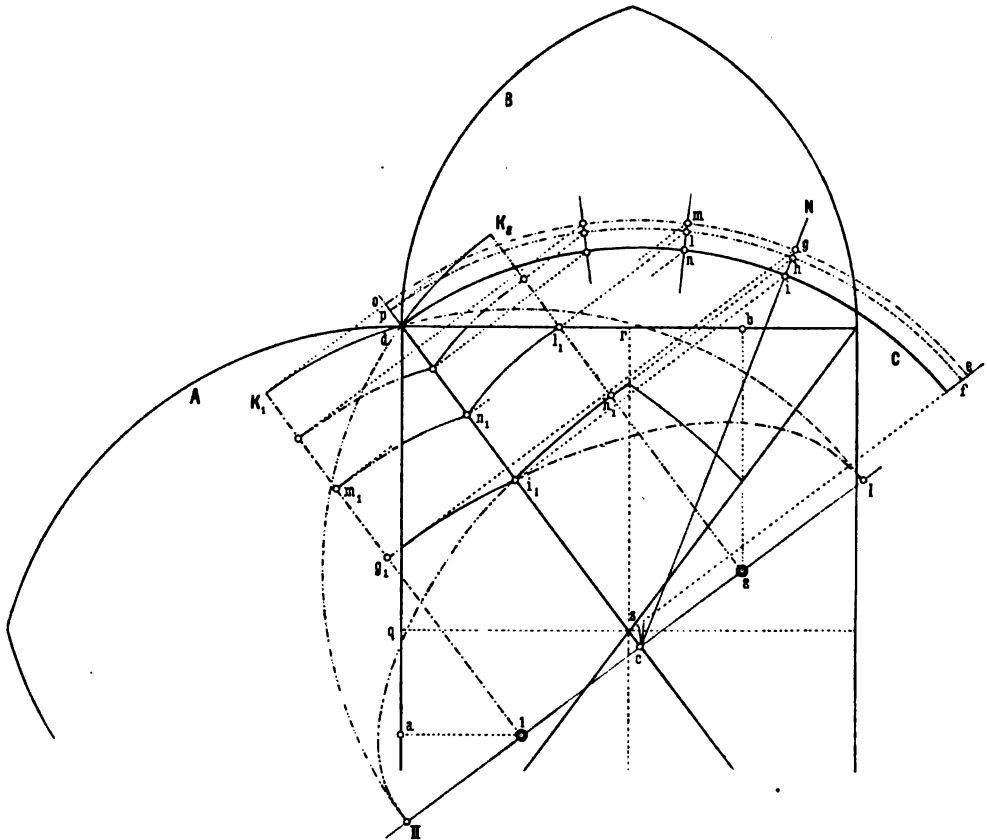
Die auf III in 1 senkrecht stehende Gerade $1K_1$ und das in 2 auf III gezeichnete Loth $2K_2$ sind Kugelaxen der Kappen qds und rds , welche in 1 , bzw. 2 parallel zur Gratebene C geführten Ebenen angehören. Ueber $1K_1$ erhebt sich ein größter Kreis $K_1 I$; über $2K_2$ steht ein größter Kreis $K_2 II$. Dieselben sind nur theilweise gezeichnet, aber gleichzeitig als oe für $K_1 I$ und als pf für $K_2 II$ in die Ebene des Bogens C gebracht.

Legt man durch den beliebigen angenommenen Punkt i des Diagonalbogens C eine Normalebene mit den Spuren cN und III , wovon cN den größten Kreis oe in g , den größten Kreis pf in h trifft, so wird die Kugelfläche qdc nach einem größten Kreise vom Halbmesser cg , die Kugelfläche rdc nach

einem größten Kreise vom Halbmesser ch geschnitten. Die auf $1K_1$ entfallende wagrechte Projection des Halbmessers cg liefert die halbe kleine Axe des in der Grundrifs-Projection als Ellipse auftretenden größten Kreises der Ebene cN , während die halbe große Axe dieser Ellipse unverändert gleich $1I = 1d = cg$ bleibt. Eben so wird die wagrechte Projection $2h_1$ von ch auf $2K_2$ die halbe kleine Axe und $2II$ die halbe große Axe der für den in der Ebene cN liegenden größten Kreis vom Halbmesser ch in der Grundrifs-Projection in Frage kommenden Ellipse.

Diesen Axen entsprechend sind die beiden in i_1 auf ds sich schneidenden Vierteilellipsen g_1I und h_1II gezeichnet. Sie liefern, in i_1g und i_1h_1 , so weit die Kappenflächen qds und rds dabei überhaupt in Betracht kommen, die Grundrifs-Projection der Lagerkante für eine in der Normalebene cN enthaltene Lagerfugenfläche einer Wölfschicht.

Fig. 509.



Für eine andere Normalebene cm entstehen die Lagerkanten $m_1 n_1 l_1$ als Theile von Ellipsen mit den Halbaxen $1I, 1m$ für $m_1 n_1$ und $2II, 2l_1$ für $n_1 l_1$.

Auf gleichem Wege lassen sich unter Beachtung von Fig. 508 (S. 444) auch die Lagerkanten der Wölfschichten bestimmen, wenn statt einer Gratkante die beiden Ansatzlinien an den Seitenflächen der Diagonalrippe berücksichtigt werden müssen.

Die Breite jeder einzelnen Wölfschicht nimmt von den senkrechten Ebenen der vorhin erwähnten Kugelaxen $1K_1$ und $2K_2$ nach beiden Seiten hin gemessen ab. Für Quadermaterial ist diese Veränderung der Breite unbedingt zu berücksichtigen. Für die Theilung der Ansatzlinie der Kappen am Diagonalbogen C können gleich große Theilweiten eintreten. Die Theilpunkte bestimmen alsdann die Richtung der zugehörigen Normalebenen und bedingen damit die Breite der an die Randbogen A und B stoßenden Wölfschichten.

Beim Einwölben der Kappen mit Backsteinen oder mit dünnen lagerhaften Bruchsteinen können bei nicht sehr weit gespannten Gewölben die Veränderungen in der Breite der an sich schmalen Wölbcharen durch eine geringe Verstärkung der Mörtelfugen ausgeglichen werden. Bei Spannweiten, welche über das gewöhnliche Maß hinaus gehen, kann diese Veränderung der Breite jedoch das mehrfache Verhauen und das weniger einfache Zurichten der Wölbsteine im Gefolge haben. In solchen Fällen bringt man, zur Vermeidung des lästigen, auch zeitraubenden Verhauens der Steine und zur Verhinderung einer unregelmässigen Gestaltung der Kugelflächen der Kappen, entweder besonders geformte Wölbsteine in Anwendung, oder man giebt die Lage der Wölbfschichten in Normalebenen zum Diagonalbogen ganz auf und wählt eine andere, den früher besprochenen Anordnungen entsprechende Bildung der Wölbfschichten.

307.
Wölbung
aus
Back- und
Bruchsteinen.

Für die Stoszfugenflächen ist die Veränderung der Breite der Wölbcharen nicht von großem Belang. Diese Flächen werden in der Regel den senkrecht gestellten Meridianebenen der Kugelflächen der Kappen zugewiesen.

Die Ansatzflächen der Rippenkörper gehören Kegelflächen an. Sie werden durch die Fortbewegung der entsprechend verlängert gedachten Halbmesser der Kugellaibungen an den für die Rippen bestimmten Ansatzlinien der Kappen erzeugt.

Meistens ergibt die gesetzmässige Gestaltung der Kappen nach reinen Kugelflächen auch eine günstig erscheinende Buftung und eine gute Form der Scheitellinie.

Sollen die Laibungsflächen der Gewölbekappen jedoch nicht als reine Kugelflächen ausgebildet werden, sollen dieselben vielmehr durch Einführung einer besonders gestalteten Buftung eine Umwandlung in kugelähnliche (sphäroidische) Flächen erfahren; so findet auch bei diesen Kappen im Allgemeinen die Anordnung der Lagerflächen der Wölbfschichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen Anwendung.

308.
Kappen
mit
kugelförmiger
Laibung.

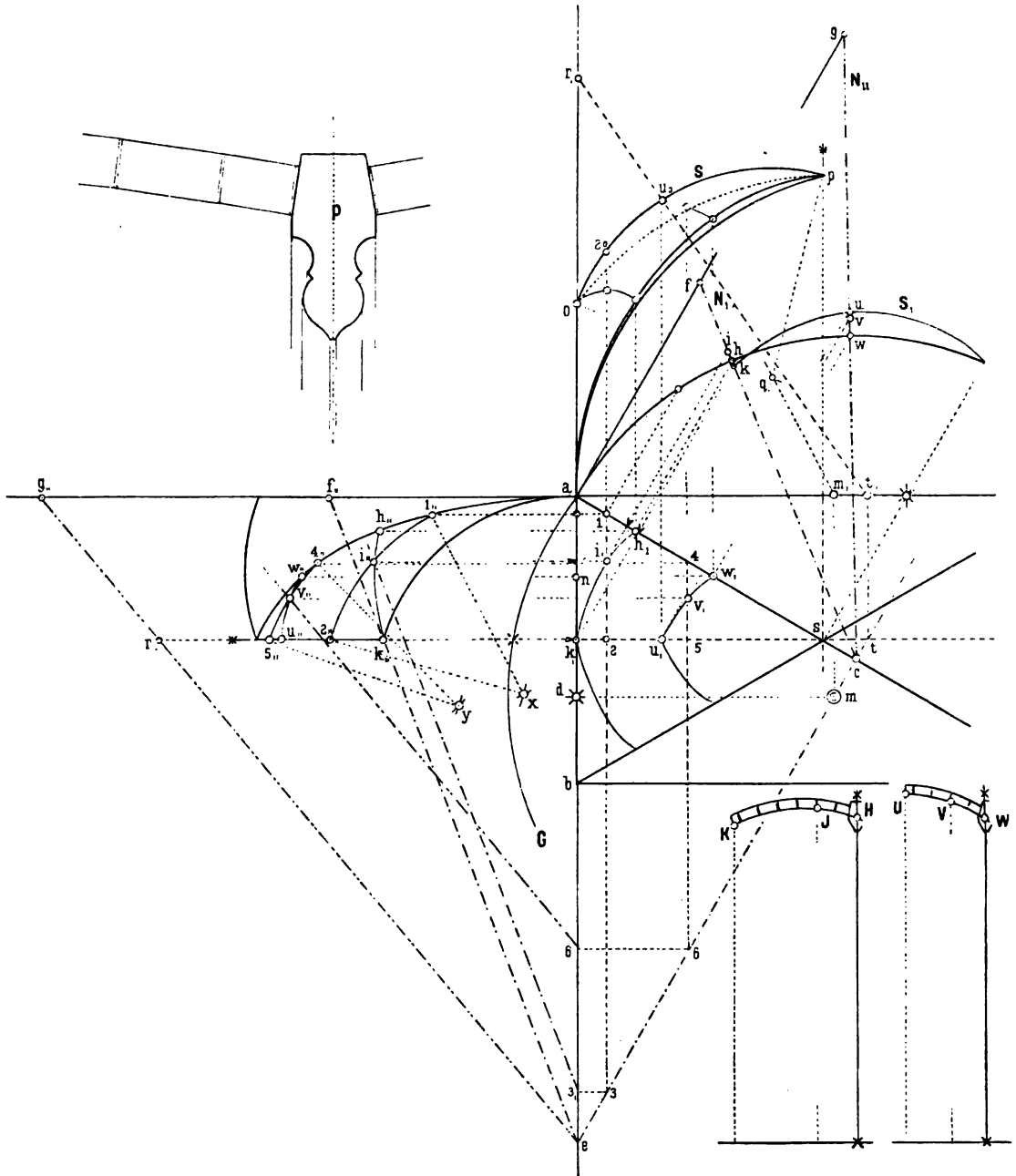
Da in der Regel die Rand- und Diagonalbogen als nach Kreisbogen geschlagene Spitzbogen beibehalten werden, so hängt die Gestaltung der Laibungsflächen der sphäroidischen Kappen in erster Linie von der Grösse der Buftung ab, welche den Wölbflächen gegeben werden soll. Sowohl ein übertriebenes, als auch ein zu geringfügiges Maß dieser Buftung soll vermieden werden.

In Fig. 510 ist ein allgemein gehaltenes Verfahren gezeigt, wonach die Gestaltung einer sphäroidischen Kappe abs unter Annahme einer frei gewählten Buftung vorgenommen ist. Der Grundriss des Gewölbefeldes sei ein Rechteck.

Die Ansatzlinien des Kappenstückes über ak, s sind am Randbogen über ak , mit dem Halbmesser da um d , am Diagonalbogen über as mit dem Halbmesser ca um c beschriebene Kreisbogen. Die Ansatzlinie am Randbogen über am , ist ein Spitzbogen, wovon ap einen Schenkel darstellt. Sämtliche Mittelpunkte dieser Ansatzlinien liegen in der wagrechten Kämpferebene. Die Scheitelhöhe der Randlinie ap möge gleich der Scheitelhöhe der Ansatzlinie an der Diagonalrippe sein; die Kappe am, s zwischen diesen beiden Ansatzlinien möge eine reine Kugelfläche bleiben. Ihre weitere Gestaltung soll hier nicht mehr berücksichtigt werden. Der Scheitelpunkt k , der Ansatzlinien am Randbogen der schmalen Rechtecksseite ab liegt wesentlich tiefer, als der Scheitel der Ansatzlinien über as , bzw. über bs . Die von diesen Ansatzlinien begrenzte Kappe über abs soll eine sphäroidische Laibungsfläche erhalten. Für die Bestimmung dieser Fläche ist nur die über ak, s gelegene Kappenhälfte in Betracht gezogen. Würde man die Laibung dieser Kappe als Kugelfläche behandeln, so würde m der Mittelpunkt derselben, G ihr größter Kreis und die über k, s liegende Scheitellinie der um m , mit dem Halbmesser $m, o = m, p$ beschriebene, punktiert gezeichnete Kreisbogen op sein. Soll nun, entsprechend einer einzuführenden stärkeren oder geringeren Kappenbuftung, eine Umwandlung dieser Scheitellinie op stattfinden, so kann dieselbe durch irgend einen höheren oder flacheren Kreisbogen ersetzt werden oder auch durch irgend eine andere, nach oben stärker oder weniger stark gebogene, jedoch gesetzmässig gestaltete Linie, wobei nur die Punkte o und p als Endpunkte unverändert bleiben müssen. Meistens wird für diese Scheitellinie ein Kreisbogen

genommen. In der Zeichnung ist dieselbe als Kreisbogen S mit beliebig gewähltem Halbmesser $oq = pq$ um q beschrieben. Durch diese Scheitellinie S und durch die Ansatzlinien über ak , und as sind die Begrenzungslinien der sphäroidischen Kappenfläche über ak, s fest gelegt. Für die Erzeugung dieser Fläche selbst ist ein bestimmtes Gesetz zu Grunde zu legen. Hier gelte die Vorschrift, daß jede Schnitlinie,

Fig. 510.



welche auf dieser Fläche durch irgend eine parallel zur senkrechten Ebene des Randbogens der Seite ab geführte Ebene hervorgerufen wird, ein Kreisbogen sein soll, dessen Halbmesser stets die Größe des Halbmessers da der Ansatzlinie ak , behält. Dieser Bedingung entsprechend, sind z. B. vermittle der Ebenen in 12 und 45 , nach Ausführung einfacher zeichnerischer Darstellungen, welche sofort aus der Zeichnung zu erkennen sind, die erzeugenden Schnitlinien $1,, 2,,$ und $4,, 5,,$ bestimmt. Ist auf dem angegebenen

Wege die Erzeugung und Darstellung einer sphäroidischen Gewölbfläche vorgenommen, so läßt sich ohne Schwierigkeit die Ausmittelung der Lager- und Stofskanten der Wölbflächen bewirken, je nachdem diese oder jene der besprochenen Anordnungen für den Fugenschnitt der Wölbung getroffen werden soll. In der Zeichnung entsprechen die Projectionen h, i, k, h'', i'', k'' , so wie w, v, u, w'', v'', u'' , den Lagerkanten von Wölbflächen, welche den Normalebenen N_1 , bezw. N_2 , zum Diagonalbogen angehören. Die Bestimmung dieser Projectionen erfolgt nach bekannten einfachen Sätzen der darstellenden Geometrie. Das Nähere hierfür ist in der Zeichnung angegeben. Für das Austragen der wirklichen Gestalt der Wölbflächen als HJK und WVU der Normalebenen N_1 und N_2 , so wie des wirklichen Querschnittes P der Diagonalrippe mit den entstehenden Ansatzflächen, welche in gleichem Sinne stattfinden kann, wie bei Fig. 453 (S. 390) angeführt ist, giebt die Zeichnung ebenfalls unmittelbar die nöthigen Anhaltspunkte.

β) Bufige Kappen mit Stelzung.

Liegen die Mittelpunkte der für das Rippenystem der gothischen Kreuzgewölbe vorgeschriebenen, meistens nach Spitzbogen geformten Ansatzlinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen nicht in einer gemeinschaftlichen Kämpferebene, bezw. nicht in ein und derselben Grundebene, oder sind von vorn herein bestimmte Ansatzlinien in ihren Scheitelpunkten in Bezug auf den höchsten Punkt des ganzen Gewölbkörpers in höherem oder geringerem Grade zu heben oder zu senken; so erhalten diese Ansatzlinien durch im Allgemeinen in lothrechter Richtung angefügte Fußlinien eine Stelzung. Diese Stelzung ist sowohl für die Gestaltung und die Art des Einwölbens der Kappen, als auch für die Entwicklung und Construction der Rippenanfänge von Bedeutung.

309.
Gestaltung.

Durch die Ansatzlinien sind die Leitlinien für die Erzeugung der Kappenflächen gegeben. Die Gestaltung der bufigen Flächen hängt ab von der Form der als Erzeugende gewählten krummen Linie, von dem Gesetze ihrer Bewegung an den gegebenen Leitlinien und in vielen Fällen noch von dem Gesetze, wonach die Form der Erzeugenden einer Veränderung während ihrer Bewegung unterworfen werden muß.

Im Folgenden sollen an einigen Beispielen die für die Gestaltungen bufiger Kappenflächen mit Stelzung erforderlichen wichtigsten Grundzüge mitgetheilt werden.

310.
Beispiel
1.

Das Kreuzgewölbe über dem rechteckigen Gewölbefelde $abcd$ (Fig. 511) soll in den Scheitelpunkten der spitzbogigen Ansatzlinien der Randbogen eine gleiche Höhenlage mit dem Scheitel der gleichfalls spitzbogigen Ansatzlinien am Diagonalbogen erhalten. Die als gegeben angesehene Form dieser Ansatzlinien möge eine Stelzung der Ansatzlinie 505 des Randbogens der schmalen Rechteckseite bc um eine lothrechte Strecke $bs = bb' = bb''$, erforderlich machen, während die Ansatzlinie bca am Randbogen der langen Seite ab ohne Stelzung bleibt.

Die Gewölbkappen an den langen Seiten können also ohne Weiteres nach den im Art. 301 (S. 435) unter α gemachten Mittheilungen gestaltet werden. Die Scheitellinie dieser Kappen sei der Kreisbogen ow . Die Gewölbkappen C und D der schmalen Seiten, wovon hier nur die Kappe D berücksichtigt wird, sollen bufige Laibungsflächen mit Stelzung erhalten. Die frei gewählte Scheitellinie dieser Kappen sei der Kreisbogen ef .

Wie sofort aus der Darstellung eines Schnittes nach der Richtung der Diagonale bd hervorgeht, bildet sich im Theile F der Kappe D eine am Fuße in einem Punkte begrenzte lothrechte Ebene, deren Höhe bb' , der Strecke der Stelzung bs , deren obere Breite der Länge der wagrechten Linie $b, 4$ entspricht. Oberhalb dieser Wagrechten $b, 4$ möge die bufige Laibungsfläche B der Kappe D beginnen. Die Erzeugende dieser Fläche sei ein Kreisbogen, dessen Halbmesser unveränderlich und gleich dem Halbmesser $55 = cb$ der Ansatzlinie 50 bleibt. Außerdem soll diese Erzeugende bei ihrer Fortbewegung an der Ansatzlinie bh des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Ansatzlinie $bs05c$ des Randbogens über bc und in ihrem höchsten Punkte in der Scheitellinie fe der Kappe D verbleiben. Führt man zur Befolgung dieses Gesetzes durch den beliebigen Punkt x der Geraden os eine Ebene

parallel zur Seitenebene bc , so wird die Leitlinie bh , bzw. ihre andere Projection $b4e$ in r , die Scheitellinie ef in u geschnitten. Trägt man weiter auf oo die Höhenlage 11 des Punktes 1 der Leitlinie bh von o aus ab, zieht man entsprechend die wagrechte Gerade E , so wird in derselben der Punkt 1 als Lage eines Punktes der gesetzlich vorgeschriebenen Erzeugenden, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, bekannt. Ein zweiter Punkt ist in 1 auf der verlängerten Geraden oo enthalten. Die Höhe $o1$, von bc aus gemessen, muß der lothrechten Entfernung des Punktes u auf der Scheitellinie ef von der Spur ab der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes gleich sein.

Beschreibt man aus diesen beiden Grenzpunkten 1 und 1 mit dem maßgebenden Halbmesser $55 = cb$ des Spitzbogens 505 den Kreuzriß 1 , so ist der um 1 , geschlagene Kreisbogen 11 diejenige Erzeugende, welche der durch x geführten Ebene zukommt. In gleicher Weise sind die Erzeugenden 22 mit dem Mittelpunkte 2 , 33 mit dem Kreuzrisse 3 , u. f. f. für die durch y , bzw. z u. f. f. parallel zu bc gelegten Ebenen bestimmt. Zur weiteren Darstellung der Kappenfläche D sind oberhalb von 55 durch den Punkt o und durch die unteren Endpunkte $1, 2, 3$ u. f. f. der ermittelten Erzeugenden $11, 22, 33$ u. f. f. wagrechte Ebenen gelegt. Die Durchstoßpunkte o, t, r, q u. f. f. mit der wagrechten

Ebene o liefern die lothrechten Projectionen einer Wöblinie der bußigen Kappe in dieser Ebene. Die wagrechte Projection dieser Wöblinie ist also, wie die Zeichnung erklärt, durch den Linienzug $strqpo$ fest zu legen. Genau so ergibt sich in Bezug auf die übrigen wagrechten Ebenen das Erforderliche zur Darstellung der wagrechten Projectionen der zugehörigen Wöblinien, wie $iklmn$ für die Ebene E oder $1, 22$ für die Ebene z u. f. f. In den lothrechten Projectionsebenen A und B erscheinen diese Wöblinien als gerade, parallel zu ab , bzw. bd geführte Linien ef , bzw. hg , 11 u. f. f. Nimmt man an der Ansatzlinie bh des Diagonalbogens oberhalb der wagrechten Abschlussskante $4b$, der lothrechten Wandfläche F eine Einteilung in Wöblschichten vor, deren Lagerkanten in wagrechten Ebenen liegen sollen, so kann man unter Beachtung des Gefagten die Grundriß-Projectionen dieser Lagerkanten zeichnen. Die zugehörigen Lagerflächen werden windschief; denn die erzeugenden geraden Linien dieser Lagerflächen gehen z. B. für die Lagerkante $iklmn$ im Elemente i durch 1 , der Ebene x , im Elemente k durch 2 , der Ebene y u. f. f.

Für das Einwölben aus Quadermaterial würde hiernach die Bearbeitung der Lagerflächen der Wöblsteine einzurichten sein. Eine besonders kräftige Mauer-Construction erfordert der Gewölbefuß an der lothrechten Wand F , welcher als gemeinfamer Anfänger für die Bogen- und Kappenstücke an den Ecken des Gewölbefeldes am besten stets aus Quadern hergestellt wird, selbst wenn die bußige Kappe oberhalb $4b$, aus Backsteinen gewölbt werden soll. Größere Binder wie $b_{,,}$, k (Fig. 512), an welchen die Bogenlinien und Kappenflächen gleich mit angearbeitet werden, greifen möglichst tief in den Mauerkörper der Ecke b ein. Dasselbe gilt auch für Gewölbanfänger mit profilierten Rippen.

Soll oberhalb der Grenzlinie $4b$, der Wand F die Wölbung aus Backstein

Fig. 511.

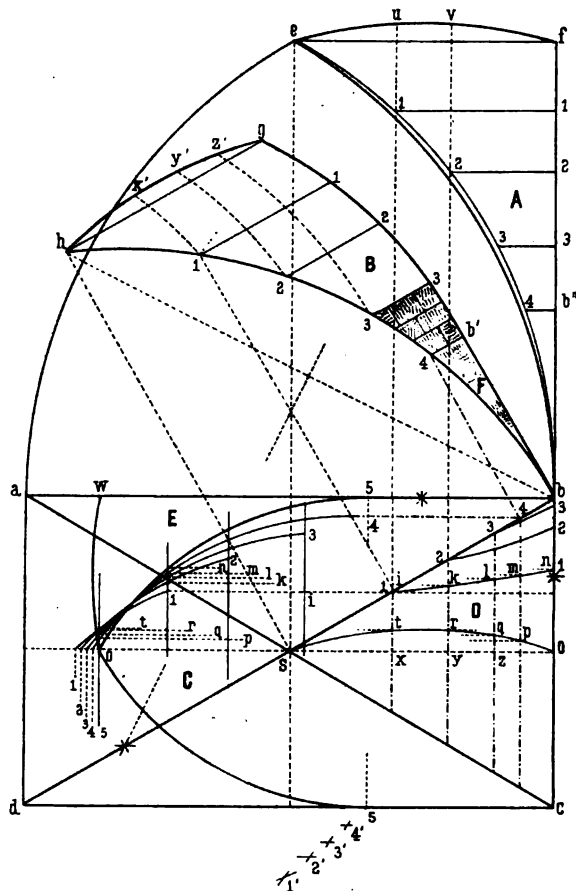
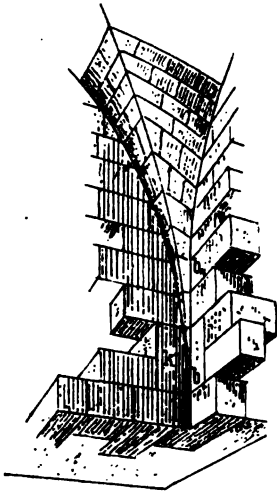


Fig. 512.

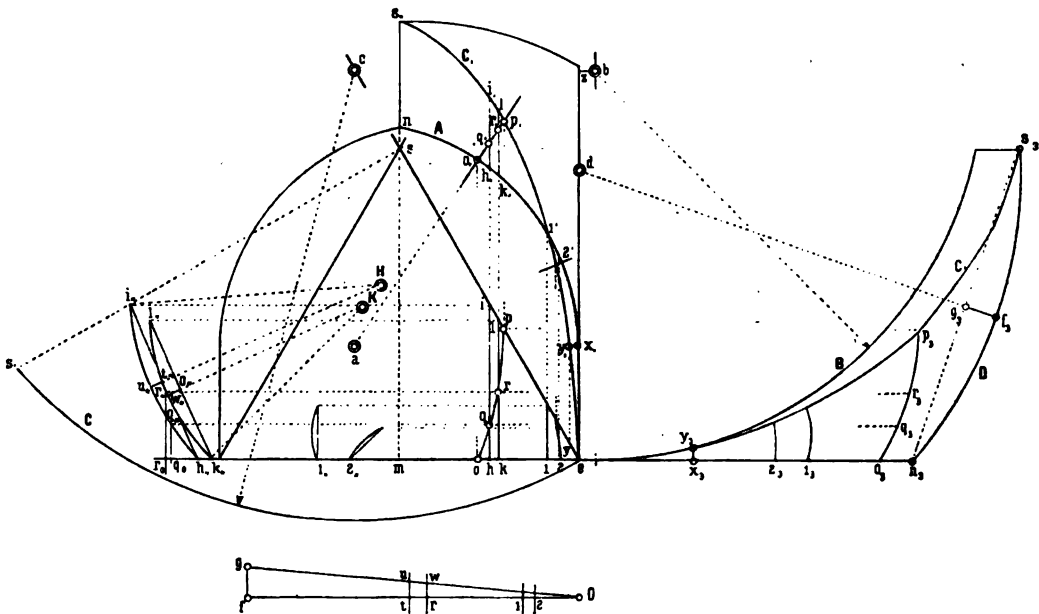


ausgeführt werden, so kann entweder der Fugenschnitt nach Normalebenen zum Randbogen oder zum Gratbogen in Anwendung kommen. Da die Gestalt der Gewölbeffläche durch die Projectionen ihrer Leitlinien, der erzeugenden Kreisbogen und der in wagrechten Ebenen liegenden Schnittlinien vollständig bestimmt ist, so lassen sich auch die einzelnen, jenen Fugenschnitten angepassten Wölbschichten und eben so ihre Ansatzflächen an den Rippenkörpern auf zeichnerischem Wege, wie im Vorhergegangenen gezeigt ist, leicht darstellen. Diese Ausmittlungen sind alsdann für die praktische Ausführung der Gewölbekappen weiter zu verwerthen.

Das Bestreben, die sphäroidischen Laibungsflächen der gestelzten Gewölbekappen einer reinen Kugelfläche möglichst nahe zu bringen, führt dazu, die Erzeugenden als Kreisbogen anzunehmen, deren Pfeilverhältniss proportional wird dem Pfeilverhältniss des als Scheitellinie der gestelzten Kappe vorgeschriebenen Kreisbogens. Die Ebenen der einzelnen Erzeugenden sind dabei parallel der senkrechten Ebene der Scheitellinie.

In Fig. 513 sei A die mit dem Halbmesser ax um a beschriebene, in ex , gestelzte Ansatzlinie eines Randbogens, der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die nicht gestelzte Ansatzlinie am Diagonal-

Fig. 513.

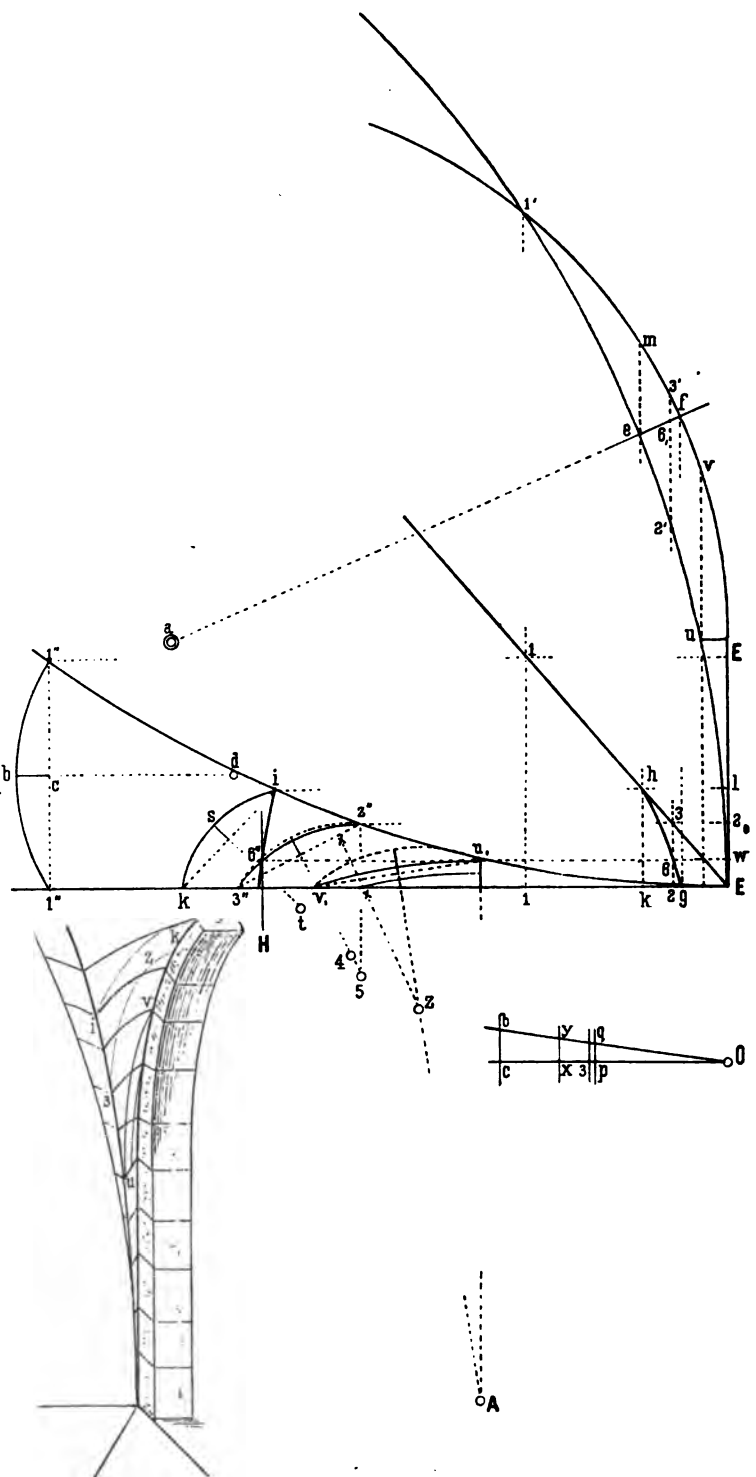


bogen, der um den Punkt b beschriebene Schenkel B eines um die Strecke zb gestelzten Spitzbogens die Ansatzlinie des Randbogens der Seite es und D die in der Ebene ms liegende, als Kreisbogen mit dem in der Kämpferebene befindlichen Mittelpunkte d gewählte Scheitellinie der Kappe ems . Das Pfeilverhältniss dieser Scheitellinie ist $\frac{f_s k_s}{n_s s_s}$. Dasselbe ist im Plane O , worin $fg = f_s g_s$ und $Of = n_s s_s$ aufgetragen ist, nochmals angegeben. Führt man parallel zur Ebene ms der Scheitellinie an beliebiger Stelle, z. B. hi , eine die bufige Kappe ems schneidende Ebene, so ergibt dieselbe auf der Ansatzlinie A

311.
Beispiel
a.

den Punkt h , auf der Projection C , der Ansatzlinie C den Punkt i . Trägt man auf den in h und i zu hi errichteten Lothen die Strecken $hh_{,,} = hh$, und $ii_{,,} = hi$, ab, so läßt sich die Gerade $h_{,,}i_{,,}$ als Sehne eines Kreisbogens ansehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilverhältniße behaftet, eine Erzeugende der sphäroidischen Kappe bildet. Das Pfeilverhältniße soll proportional dem Pfeilverhältniße der Scheitellinie sein. Nimmt man $Ol = h_{,,}i_{,,}$, so ergibt die in l parallel zu fg gezogene Linie lu die gefuchte Pfeilhöhe der erzeugenden Bogenlinie. Das in der Mitte $l_{,,}$ auf $h_{,,}i_{,,}$ errichtete Loth erhält die Länge $l_{,,}u_{,,} = lu$. Der durch die drei Punkte $h_{,,}u_{,,}i_{,,}$ gelegte Kreisbogen mit dem Mittelpunkt H liefert die gewünschte Erzeugende. In gleicher Weise sind die Erzeugenden $k_{,,}l_{,,}$, $i_{,,}$ und $z_{,,}$ für die Ebenen kl , i und z aufgetragen. Für die Ebene i ist i , die gemeinschaftliche lothrechte Projection ihrer Schnitte mit den Ansatzlinien A und C . Die Sehne der zugehörigen erzeugenden Kreislinie $i_{,,}$ liegt wagrecht. Die obere Begrenzungslinie x,y , der durch die Stelzung ex , entstehenden lothrechten Fläche ex,y , mit der Grundriss-Projection ey auf es bleibt eine unveränderliche wagrechte Gerade. Dieselbe bildet als Fußlinie der bußig geformten Kappenfläche eine Grenze für die Ausmittelung der erzeugenden Kreislinien innerhalb des Kappentheils x,y , bis i . Setzt man in diesem Theile das angegebene Verfahren für die Bestimmung der Erzeugenden fort, so ergibt sich, daß dieselben im Allgemeinen in einiger Entfernung über der Grenzlinie x,y , mit einem größeren oder geringeren Bogenstücke über die Ansatzlinie des einen oder anderen Rippenkörpers hinwegfallen, also nunmehr als Erzeugende der Kappenfläche ohne Weiteres nicht beibehalten werden können.

Fig. 514.



zu i :
Scheitel
haben

Um dennoch eine gefetzmäßige Erzeugung und bildliche Darstellung der in Frage kommenden Fläche und damit die Grundlagen für eine fachgemäße Ausführung ihres Gewölbkörpers zu erzielen, läßt man eine weitere Veränderung der bezeichneten Erzeugenden eintreten.

Ist in Fig. 514 u, i, i , der Kappentheil, wofür nach und nach eine Veränderung der erzeugenden Kreisbogen erforderlich wird, so kann diese Veränderung z. B. für die lothrechte Ebene 23 in der folgenden Weise bewirkt werden. Die Ebene 23 liefert auf der Ansatzlinie $E i$, des Diagonalbogens den Schnitt 2 , wofür $2_0 2$, = 22 , aus der Zeichnung zu entnehmen ist, und auf der Ansatzlinie $E k i$, des Randbogens den Schnitt 3 , wofür $E 3$, = 23 , wird. Die Gerade $3, 2$, ist die Sehne des erzeugenden Kreisbogens. Nimmt man im Hilfsplane $O b c$ die Bestimmung der Pfeilhöhe dieses Bogens nach proportionaler Theilung wie früher vor, so wird, wenn $O c$ gleich der Sehne i, i , und $c b$ die Pfeilhöhe des Kreisbogens $i, b i$, ist, bei der Länge $O 3$ gleich der Sehne $3, 2$, die in 3 parallel zu $c b$ gezeichnete, von $O c$ und $O b$ begrenzte Gerade, die gefuchte Pfeilhöhe ergeben. Der mit dieser Pfeilhöhe behaftete, punktirt eingetragene Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in 4 zu bestimmen war, schneidet die Ansatzlinie des Diagonalbogens jedoch in unmittelbarer Nähe über 2 , was für die Bildung der Kappenfläche unzulässig ist. Für eine weitere Ausmittlung der Erzeugenden u, v , der lothrechten Ebene $u v$, wobei der Mittelpunkt s gefunden wurde, ist ein derartiges Durchschneiden noch stärker bemerkbar. In diesen Fällen sind die Ordinaten $2_0 2$, $w u$, der Endpunkte 2 , der Sehne $3, 2$, und u , der Sehne v, u , als lothrechte Tangenten für die zugehörigen, nunmehr einer Veränderung zu unterwerfenden erzeugenden Kreisbogen anzunehmen.

Hiernach wird 5 als Schnitt des im Halbierungspunkte der Sehne $3, 2$, errichteten Lothes mit der durch 2 , gezogenen Wagrechten der Mittelpunkt des einzuführenden erzeugenden, hier voll gezeichneten Kreisbogens $3, 2$, und A auf der durch u , ziehenden wagrechten Linie der Mittelpunkt der verwendbaren Erzeugenden v, u .

Für die Erzeugenden unterhalb des Kreisbogens v, u , sind die zugehörigen Mittelpunkte auf der Geraden u, A zu bestimmen, sobald nur wieder die Schnitte lothrechter, parallel zu 23 geführter Ebenen mit der Ansatzlinie $E k i$, und der wagrechten Grenzlinie u , bezw. u , der lothrechten Stelzungswand ermittelt sind.

Nach der gewonnenen Darstellung der Laibungsflächen der gestelzten bufigen Kappen bietet die Ausmittlung des Fugenschnittes für ihre Einwölbung keine Schwierigkeiten mehr.

Soll z. B. eine Wölbung nach Normalebenen zum Randbogen vorgenommen werden, so können die Lagerfugenkanten in ihren Projectionen, wie für eine Ebene $a p$, in Fig. 513 oder für $a f$ in Fig. 514, auf bekanntem, in der Zeichnung unmittelbar verfolgbar Wege fest gelegt werden.

Für eine Vereinigung nicht gestelzter Kappen mit einer größeren Anzahl gestelzter Kappen unter der Bedingung einer möglichst starken Annäherung ihrer Laibungsflächen an reine Kugelflächen, wobei namentlich die Scheitellinien in innige Beziehung zu diesen Flächen zu bringen sind, sollen unter Benutzung von Fig. 515 die wichtigsten Anhaltspunkte gegeben werden.

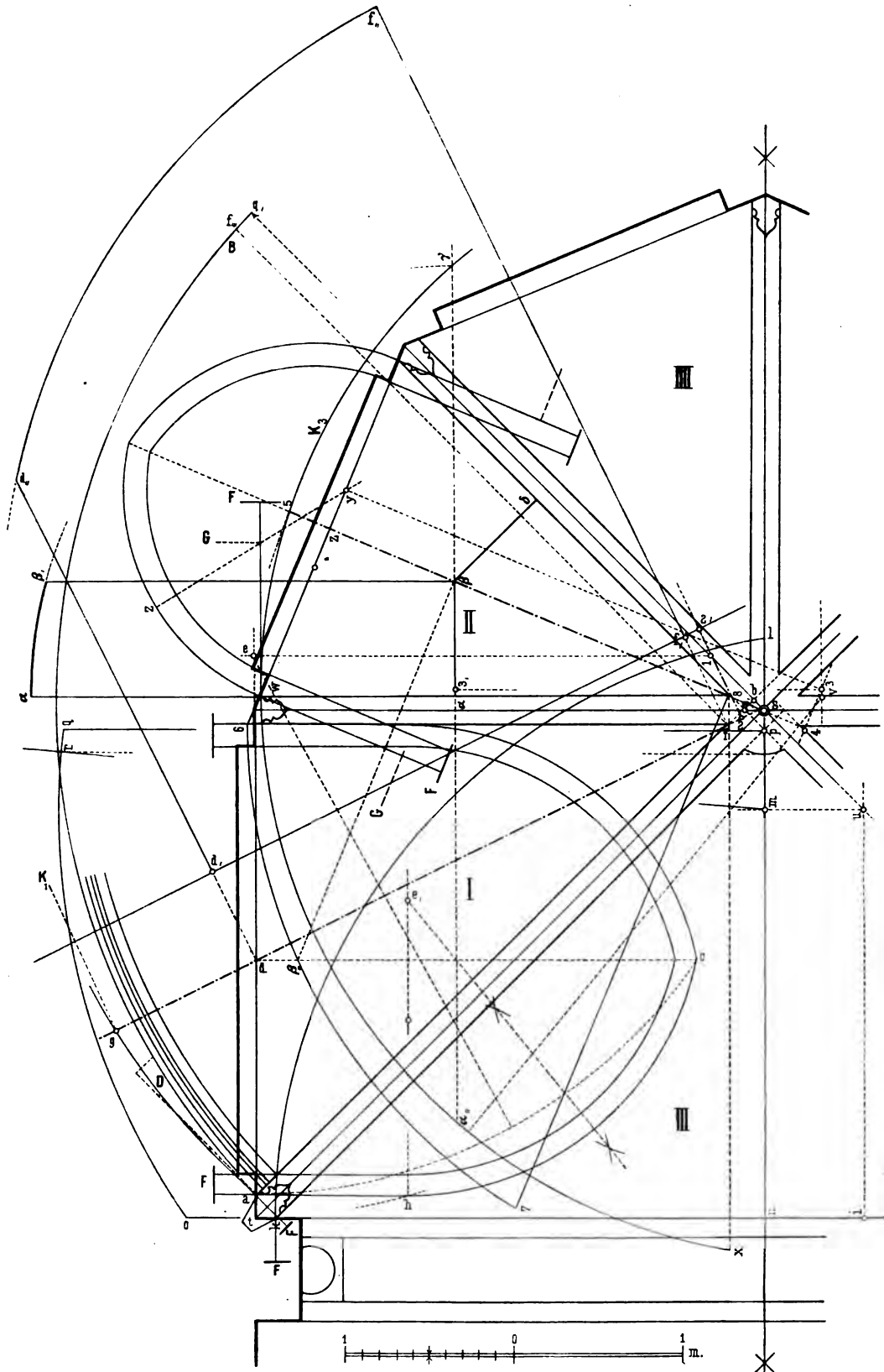
Das im Grundriffe zur Hälfte dargestellte Gewölbe besteht aus 7 durch Rippen geschiedenen Gewölbekappen von dreieckiger Grundform mit gemeinschaftlichem, über s liegendem Scheitel. Aus besonderen architektonischen Gründen müssen die Ansatzlinien an den Randbogen der Kappen mit der Anordnung I, II, IV um eine Höhe $w G$ gestelzt werden, während die Ansatzlinie am Randbogen (Gurtbogen) der Seite $k i$ für die Kappe III nicht gestelzt werden darf. Eben so erhalten die Ansatzlinien an den Diagonalen, ausgenommen jedoch an den Rippen über $s t$ und $s u$, dieselbe Stelzung $w G$. Die Fußpunkte der sämtlichen Ansatzlinien sollen aber in einer und derselben wagrechten Kämpferebene F angenommen werden, welche um eine lothrechte Höhe $a F$ unter der eigentlichen Grundebene G liegt. Diese Grundebene enthält die Mittelpunkte der nicht gestelzten Ansatzlinien für die Rippen $s t, s u$ und für den Gurtbogen $k i$.

Die Ebene F bedingt demnach nur eine gleichmäßige Ueberhöhung, sowohl für die gestelzten, als auch für die nicht gestelzten Ansatzlinien der gesammten Gewölbekappen.

Für die Gestaltung der Laibungsflächen dieser Kappen ist die Ansatzlinie über $a f$ an der Diagonalrippe $s t$ als grundlegend, und zwar als der um b mit dem Halbmesser $b a$ beschriebene Viertelkreis B gewählt.

32a.
Beispiel
3.

Fig. 515.

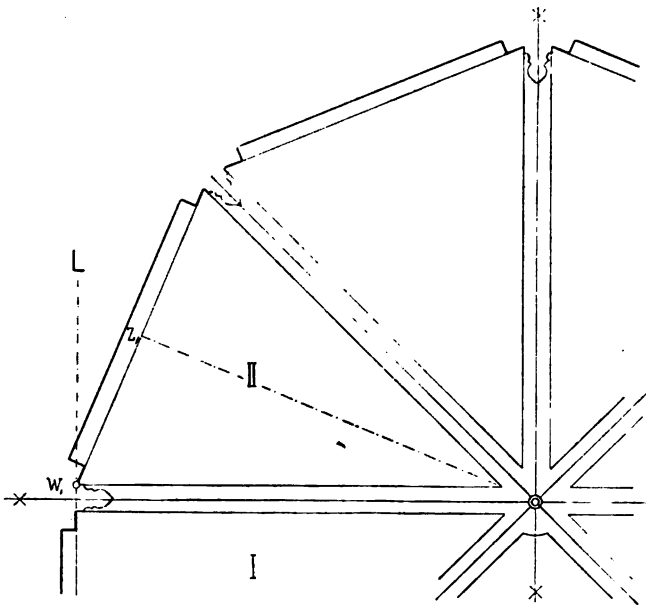


Sollte die Kappe *I* bei der von vornherein gegebenen Höhe *cd* einer an der Seite *ag* zu bildenden Ansatzlinie ohne Rücksicht auf ihre Stelzung eine Kugelfläche als Laibung erhalten, so würde ein Spitzbogen, wovon ein Schenkel *ac* mit dem Mittelpunkt *e* punktirt eingetragen ist, die erforderliche Ansatzlinie werden können. Alsdann ist der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappenhälfte *afd* der Schnitt *r* der in *b* auf *ab* und in *c* auf *ae* errichteten Lothe. Die Punkte *a*, *b*, *c* und *r* liegen in der Grundebene *G*. Der um *r* mit dem Halbmesser *ra* beschriebene Kreisbogen *ag* ist ein Stück des größten Kreises dieser Kugelfläche. Der Schnitt einer in der Richtung *fd* geführten lothrechten Ebene liefert nach Bestimmung des Punktes *z* den Kreisbogen der Scheitellinie der Kappe *I*. Dieser Kreisbogen ist besonders als *d₁₁f₁₁* ausgetragen und mit dem Halbmesser *z, k₁ = zg* um *z*, beschrieben. Als Probe der Richtigkeit muß bekanntlich *f, f₁₁ = ff₁₁* und *d, d₁₁ = dc* erhalten werden.

Die Rücksicht auf das Einführen eines stumpferen Spitzbogens als Ansatzlinie am Randbogen der Seite *ag* und die gebotene Anordnung einer Stelzung verlangen jedoch eine Umformung des vorläufig als Hilfslinie benutzten, nicht gestelzten Spitzbogens *ac*. Dieses neue Gestalten der Ansatzlinie kann ohne Veränderung der bereits ermittelten Scheitellinie *d₁₁f₁₁* vorgenommen werden. Nimmt man die Lothrechte *ah* gleich der Stelzung *wG*, ermittelt man auf der durch *h* gelegten wagrechten Linie *he*, den Mittelpunkt *e*, des durch *h* und *c* gehenden Kreisbogens *hc*, so erhält man den gestelzten stumpferen Spitzbogen *ahcg* als Ansatzlinie am Randbogen der Seite *ag*. Die Ansatzlinie am Diagonalbogen *fg* erfährt eine Stelzung *wG*; ihre Form wird aber von der Gestalt der Ansatzlinie der Kappe *II* an demselben Diagonalbogen *fg* abhängig, und zwar sollte sie in erster Linie in Rücksicht auf eine lothrechte Ebene *sw* mit den in diese Ebene projecirten, als Kreisbogen zu beschreibenden Begrenzungslinien der Rippenprofile des Diagonalbogens concentrisch sein. Die Punkte *f* und *s*, auch die Punkte *w* und *g*, haben paarweise gleiche Höhenlage über der Grundebene *G*.

Liegt nun in Folge eines Einschneidens der Seite *ws* in die Fußfläche des Rippenprofils des Diagonalbogens der Punkt *w* mit dem Punkte *g* nicht in einer und derselben lothrechten Ebene, wie hier, um dabei auf einen gewissen Nachtheil hinweisen zu können, angenommen ist, so kann offenbar die von *f* nach *g* zu führende, etwa als Kreisbogen zu bestimmende Ansatzlinie der Kappe *I* am Diagonalbogen nicht mehr concentrisch mit der Ansatzlinie *sw* verlaufen. Es entsteht vielmehr an der lothrechten

Fig. 516.



Profilebene der Seite *gf* des Diagonalbogens eine sichelförmige Fläche, welche bei einer unteren Breite gleich dem Abstände der beiden lothrechten Ebenen *wF* und *ae* zuletzt bei *f* in einer Spitze endigt. Kommen auch derartige Ansatzbildungen vor, so lassen sich dieselben doch meistens vermeiden, wenn vorweg eine regelmäßige Gestaltung der Fußfläche des Rippenkörpers *sfwg*, worauf schon in Art. 293 (S. 427) hingewiesen ist, wie hier z. B. durch ein Zusammentreten der lothrechten Ebene *ae* mit der Ebene *wF* herbeigeführt wird. Verlegt man den Schnitt *w* von *ws* mit *ae* nach Fig. 516 derart, daß durch ein geringfügiges Verdrücken der Linie *ws* nach *w, z*, der Punkt *w* nach *w*, in die Linie *L* fällt, welche mit der

Geraden *ae* in Fig. 515 übereinstimmt, so ist eine regelmäßig gestaltete Fußfläche des profilirten Rippenkörpers zu schaffen. Grundrisse und Deckenbildung gehen in Rücksicht auf constructive Anordnungen alsdann Hand in Hand.

Sind die Ansatzlinien der Kappe *I* fest gelegt, so wird die Gestaltung ihrer Laibungsfläche unter

Beibehalten der Scheitellinie $d''f''$ und der lothrechten Stelzfläche D am Diagonalbogen nach dem in Art. 311 (S. 453) Gefagten bewirkt. Die Laibungsfläche ist sphäroidisch; sie nähert sich der reinen Kugelfläche jedoch in bemerkenswerther Weise.

Die Gewölbeflächen der Kappen II , IV können aus reinen Kugelflächen zusammengesetzt werden. Die Fußpunkte sämtlicher Ansatzlinien an den Randbogen und Diagonalbogen liegen vermöge ihrer gleichmäßigen Stelzung in einer wagrechten Ebene, welche von der Grundebene G um die lothrechte Höhe Gw entfernt ist. Die Höhe δx der Ansatzlinie wx am Diagonalbogen ist gleich der um die Strecke Gw verkleinerten Höhe ff'' , bzw. f, f'' weniger Gw . Bestimmt man den Mittelpunkt v auf der Geraden wv für den Kreisbogen wx , so ergibt derselbe die Ansatzlinie über $w\delta$, welche, wie vorhin bemerkt, auch die Ansatzlinie der Kappe I am Diagonalbogen unmittelbar beeinflusst. Ist die Ansatzlinie der Kappe II am Randbogen oberhalb w als stumpfer Spitzbogen gewählt, dessen Schenkel mit dem Halbmesser yw beschrieben sind, so wird \mathcal{J} der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück $\delta w s$, K_3 ihr größter Kreis und folglich der mit dem Halbmesser $\mathcal{J}S$ um \mathcal{J} beschriebene Kreisbogen $\mathcal{J}7$ die Scheitellinie über δx . Die Fläche der zweiten Kappenhälfte ist nach den gleichen Grundlagen zu behandeln. Der Schnitt einer nach $\alpha\beta$ rechtwinkelig zu $w\delta$ stehenden lothrechten Ebene mit der Kappenfläche $\delta w 7$ ist der um \mathcal{J}_1 mit dem Halbmesser $\mathcal{J}_1\gamma$ beschriebene Kreisbogen α, β .

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte α , und β , ist zu bemerken, daß $\alpha\alpha, = \alpha\alpha''$, und $\beta\beta, = \beta\beta''$, sein muß. Dieselbe Schnittlinie α, β , würde sich auch für eine lothrechte Ebene mit der Grundrissfigur $\beta\delta$ ergeben.

Bei vollständiger Regelmäßigkeit der Fußflächen der Diagonalrippen (Fig. 516) tritt ein concentrischer Lauf der Ansatzlinien der Kappen mit den Grenzlinsen der Profile dieser Rippen ein. Die Gestaltung der Gewölbefläche IV entspricht der bei der Kappe II gegebenen Entwicklung.

Endlich ist auch die Laibungsfläche der Kappe III , nach reinen Kugelflächen zu bilden. Die Ansatzlinie über kn der Seite ki am Gurtbogen sei der um i mit dem Halbmesser ik beschriebene Schenkel kl eines gleichfalls stumpf genommenen Spitzbogens. Die Ansatzlinie über kp am Diagonalbogen entspricht dem Kreisbogen B . Der gemeinschaftliche Fußpunkt k der beiden in Frage kommenden Ansatzlinien, welche für die Kappe III nicht gestelzt werden sollen, liegt in der Grundebene G .

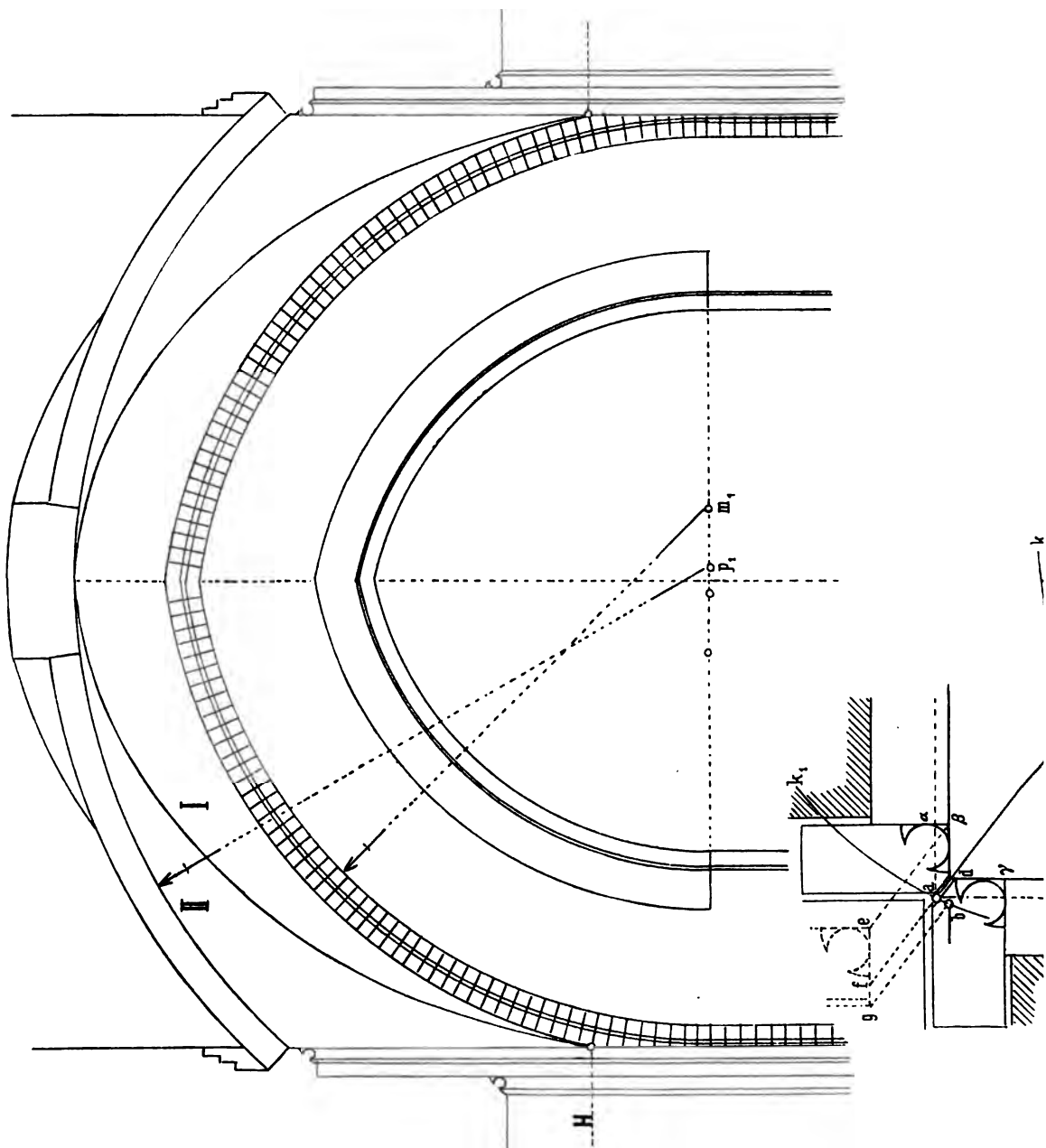
Nach bekanntem Verfahren wird u der Mittelpunkt der Kugelfläche über $kn p$ und m der Mittelpunkt der Scheitellinie oq , für welche $no = nl$ und $pq = bq$, ist. Von dieser Scheitellinie fällt durch Einfügen eines größeren Schlusssteines bei s , dessen äußere Randlinie in einer durch f'' , bzw. f''' geführten wagrechten Ebene liegt, das Stück rq fort, so daß wiederum die Höhe des Punktes r genau gleich der Höhe ff''' , bzw. f, f'' über der Grundebene wird.

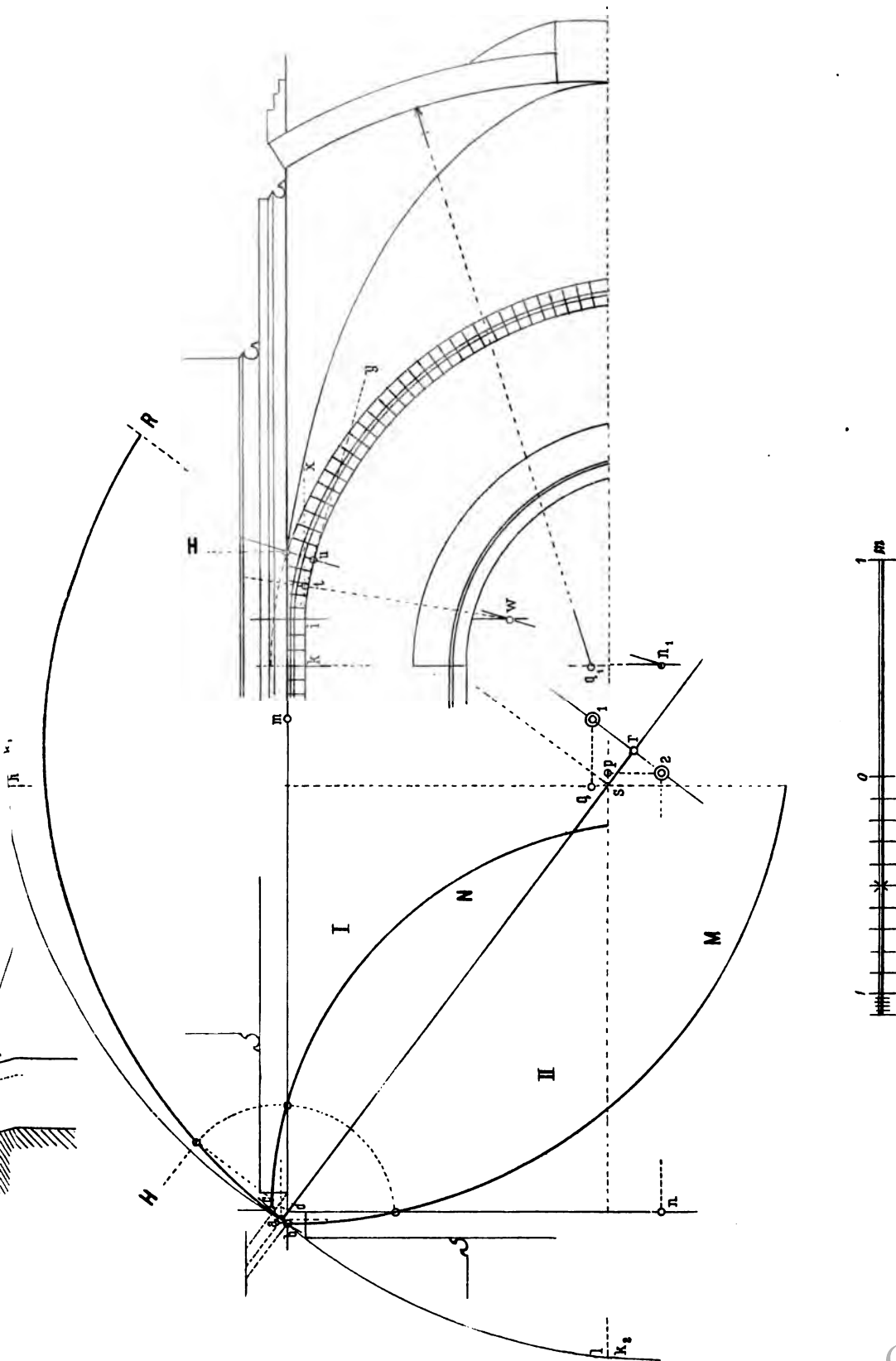
323.
Beseitigen
der
Stelzungs-
flächen.

Zur Vermeidung der lothrechten Wand- oder Stelzungsfläche, welche in Folge der Stelzung einer Gewölberippe an dem dicht benachbarten, nicht gestelzten Rippenkörper entsteht, könnte füglich statt des gestelzten Rippenbogens und der damit verbundenen Ansatzlinie der Kappe ein in Art. 279 (S. 408) gekennzeichnete Knickbogen oder ein in geeigneter Weise aus beliebig vielen Mittelpunkten construirter Korbogen in Anwendung kommen. Bei schmalen rechteckigen Gewölbefeldern, so wie auch bei Gewölben, deren Scheitel bedeutend höher liegen, als die Scheitel der sonst zu stützenden Bogen, liefert dieses Auskunftsmittel jedoch, in Rücksicht auf eine mit der ganzen Gewölbebildung in vollem Einklange stehende Form, meistens kein besonders befriedigendes Ergebnis.

Weit besser kann in der Regel das Beseitigen der Stelzungsfläche durch ein Zurücksetzen der Stelzungswand in die Widerlags- oder Pfeilerkörper des Gewölbes bewirkt werden, selbst wenn damit eine geringfügige Aenderung eines kleinen Theiles am Fulse der sonst zu stützenden Bogenlinien veranlaßt wird. Außerdem kann dabei die Möglichkeit der Durchbildung der Kappenflächen als reine Kugelflächen aufrecht erhalten werden.

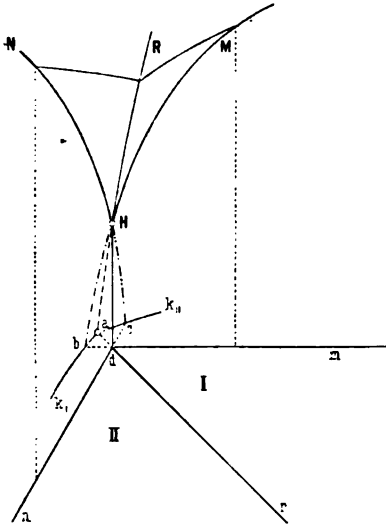
Die Grundlagen für diese Gestaltung sind in Fig. 517 enthalten. Würde bei gestelzten Randbogen M , bzw. N der Seiten dm und dn eines Gewölbefeldes die Höhe der Stelzungswand über der Kämpferebene gleich dH werden, so würde beim Einführen dieser Wand der Diagonalbogen R seinen Fußpunkt in d bekommen,





Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.

Fig. 517.



pen. Diesen Grundlagen entsprechend ist auf neben stehender Tafel die Zeichnung von einem Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über einem rechteckigen Gewölbe gegeben.

Die profilirten Randbogen der Seiten dm und dn sind in ihren Begrenzungslinien wesentlich concentrisch mit den Bogenlinien der oberen Abschlüsse der Lichtöffnungen in den Seitenmauern zu halten.

R ist der in a auf der Kämpferebene beginnende, als Kreisbogen um r mit ra beschriebene Diagonalbogen. Punkt m , und demnach auch n ist der gegebene Mittelpunkt des Fensterbogens der Seite dm . Da m , bzw. n auch Mittelpunkt des Randbogens und damit zugleich die Ansatzlinie über dm für die Kappe I sein soll, so ergibt sich im Schnitte r des in m auf dm errichteten Lothes mit dem in r auf ar gezogenen Lothe der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück I. Der um r mit dem Halbmesser ra beschriebene Kreisbogen k , bezeichnet ihren größten Kreis. Die lothrechte Ebene md schneidet gehörig erweitert den Kreis k , in b und folglich wird der um m mit mb geschlagene Kreis M die Ansatzlinie der Kappe I über der Seite dm ; sie vereinigt sich mit dem Diagonalbogen R an der lothrechten Mauer- oder bei d in einer Höhe dH über der Kämpferebene. Unter Benutzung der Punkte n , bzw. n und r ergibt sich in a der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück II mit dem Halbmesser sa und dem größten Kreise k_1 , so wie in dem um n mit dem Halbmesser nc beschriebenen Kreise N die gefuchte, ebenfalls in der Höhe dH auslaufende Ansatzlinie der Kappe II für die Seite dn .

Die Scheitellinien der Kappen I und II sind die um q , mit dem Halbmesser qh und um p , mit dem Halbmesser pl beschriebenen Kreisbogen der zugehörigen Kugelflächen.

Zur Erzielung eines gleichartigen Emporsteigens der profilirten Randbogen ist der Grundriss der Ansätze dieser Bogen zweckmäßig unter Benutzung des größten Kugelkreises k , und des Punktes b für die am weitesten gespannte Kappe I in der Weise zu entwickeln, daß, wie im vergrößerten Plane bei ge gezeigt ist, unter der hier genommenen Anordnung gleicher Profile, die Breite der Fußflächen $d\beta = d\gamma$ wird. Diese Annahme einer gleich großen Breite kann allerdings zur Folge haben, daß ein mit dem Halbmesser n, k um n , geschlagener Kreisbogen, wobei der Punkt k dem Punkte γ in der Kämpferebene entspricht, der Ansatzlinie N im Aufriss an der schmalen Rechtecksseite nicht mehr concentrisch bleibt. Solches ist hier der Fall. Eine um n , mit der Ansatzlinie N concentrische innere Begrenzungslinie des Randbogens fällt über k hinaus. Da aber hierdurch eine nicht beabsichtigte, auch nicht günstige Verminderung der Breite $d\gamma$ der Fußfläche des Randbogens eintreten würde, so muß eine Umgestaltung der inneren Begrenzungslinie für die Strecke ku stattfinden. Für die Fußlinie k, ti, u geht die Fugenrichtung am Randbogen in der Höhe H durch u nach n . Vom Scheitel dieses Bogens bis u verläuft die Bogenlinie concentrisch mit sämmtlichen übrigen Bogenlinien. Die Lothrechte kx schneidet die in u gezogene Tangente y im Punkte t . Nimmt man $tu = ti$ und zieht iw parallel zu kn , so wird w der Mittel-

und ein in der Höhe dH liegender Punkt dieses Bogens würde in der Richtung dr um eine wagrechte Strecke ad vorgeschoben sein.

Legt man aber den Fußpunkt des Bogens R um dieselbe Strecke von d nach a zurück und setzt man gleichzeitig den Punkt a als Fußpunkt für zwei andere Kreisbogen fest, so wird die Stelzungswand in den Widerlagskörper gerückt und damit beseitigt.

Beschreibt man alsdann R und M als Kreise einer Kugel mit dem durch a gehenden größten Kreise k , für die Kappe I und ferner N als Kreis einer Kugel mit dem ebenfalls durch a zu führenden größten Kreise k_1 für die Kappe II, so wachsen die Bogen R , M und N aus dem gemeinschaftlichen Punkte H hervor. Sie bilden die Ansatzlinien der nach Kugelflächen zu gestaltenden Kappen.

punkt eines kurzen Kreisbogens ui , und die Lothrechte ik ergibt eine mäfsige, nicht ungünstig wirkende Ueberhöhung der nunmehr fest gelegten inneren Begrenzungslinie, welcher sich die übrigen Randlinien gleich laufend anzuschliessen haben. Durch diese an sich geringfügige Umformung werden keinerlei Nachtheile für die Gewölbekonstruktion verursacht.

8) Stärke der gothischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

314.
Ueberficht.

Die Gewölbekappen der gothischen Kreuzgewölbe erhalten in den meisten Fällen eine Bufung. Ihre Laibungsflächen gehören reinen Kugelflächen oder kugelförmigen Flächen an; ihre Wölbung entspricht im Wesentlichen einem freihändigen Zusammenfügen der Wölbsteine in der Weise, dass Bestandtheile eines Kugelgewölbes entstehen, welche sich gegen die Rippen als Träger des ganzen Gewölbes legen. Letztere liefern das gefamnte im Gewölbe nach gerufene System von Kräften an die Gewölbstützen ab. Die zur Ermittlung der Stärke der gothischen Kreuzgewölbe zu führenden Untersuchungen umfassen vorwiegend die Prüfungen der Stabilität:

- α) der Gewölbekappen,
- β) der Gewölberippen und
- γ) der Gewölbewiderlager oder Gewölbstützen.

Bei dem zuletzt genannten Punkte sind noch besonders die bei den gothischen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Strebe- oder Schwibbogen zu berücksichtigen.

α) Stabilität der Gewölbekappen.

315.
Stabilität
der
Gewölbekappen.

Die busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe sind, wie auch die Art ihrer Einwölbung beschaffen sein mag, im Wesentlichen als Bestandtheile eines Kugel-, bzw. eines Kuppelgewölbes anzusehen. Ihre statische Untersuchung und die damit verknüpfte Bestimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszustand dieser besonderen Gewölbe zur Richtschnur zu nehmen. Die Theorie der Kuppelgewölbe ist in Theil I, Band I, zweite Hälfte (Art. 489 u. ff., S. 461 u. ff. ¹⁸³) dieses »Handbuches« gegeben.

Die hierin enthaltenen Grundlagen sollen im Folgenden bei den statischen Untersuchungen der in Frage kommenden Gewölbekappen mit berücksichtigt werden.

Ein Kuppelgewölbe besteht im Allgemeinen aus concentrischen Wölbchichten oder Kränzen, d. h. aus gewölbten Ringchichten, welche nach und nach für sich geschlossen und über einander gelagert werden. Ihre Lagerflächen sind Kegelflächen mit einer gemeinschaftlichen Spitze im Mittelpunkte der zugehörigen Kugel- oder Kuppelfläche; ihre Stoszfugenflächen liegen in lothrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinschaftliche Schnittlinie dieser Schar von Meridianebenen ist die lothrechte Kuppelaxe. Ein von zwei benachbarten Meridianchnitten begrenztes Stück des Kuppelgewölbes ergibt einen Meridianstreifen.

Diesem besonderen Aufbau und Zerlegen der Kuppelgewölbe, wodurch sich dieselben wesentlich von der Herrichtung der cylindrischen Gewölbe unterscheiden, entsprechend, muss bei der statischen Untersuchung der Kuppelgewölbe der Gleichgewichtszustand von zwei Kräftegruppen geprüft werden. Diese Kräftegruppen umfassen erstens das auf die ebenen Stosflächen der Wölbkränze einwirkende Kräftesystem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerflächen dieser Kränze gelangenden Kräfte.

¹⁸³) 2. Aufl.: Art. 281 u. ff., S. 269 u. ff.

Da Kuppelgewölbe auch am Scheitel offen bleiben können, also ein Meridianstreifen oben nicht bis zu der als lothrechte Gerade vorhandenen Scheitellinie zu reichen braucht, so ist in erster Linie die Untersuchung des Gleichgewichtszustandes eines Wölbkranzes von maßgebender Bedeutung.

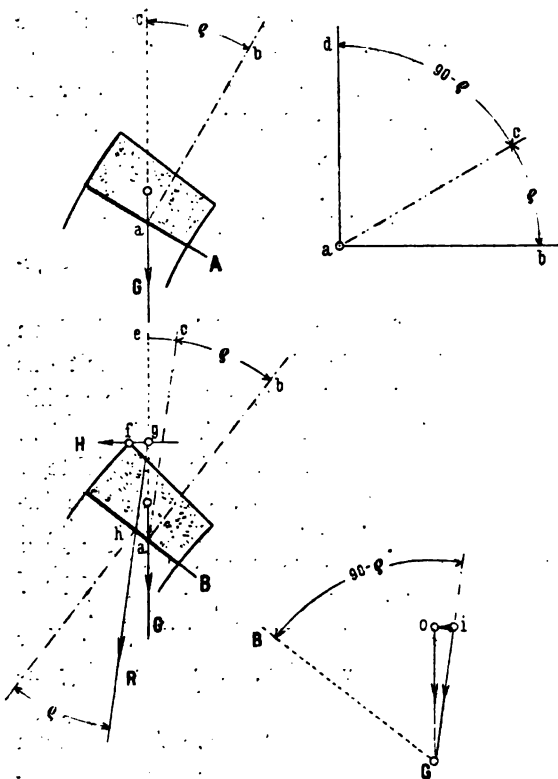
Hierbei kommt nun der Neigungswinkel der Erzeugenden der Lagerfläche des Kranzes und außerdem, in Bezug auf die unteren Lagerkanten desselben, die Lage der Lothrechten, worin das Gewicht eines Kranzsteines, einschliesslich seiner etwa vorhandenen Belastung, wirkt, besonders in Betracht; denn sein Gleichgewichtszustand wird beeinflusst durch jenen Neigungswinkel in Rücksicht auf das Gleiten auf der Lagerfläche, durch die bezeichnete Lothrechte im Hinblick auf eine Drehung um eine Lagerkante des Kranzsteines.

Soll im vollständig geschlossenen Wölbkranze Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehung herrschen, so werden durch die im Kranze lebenden Kräfte in den Stoßfugen Pressungen geweckt, welche, unter der Voraussetzung eines geeigneten Wölbmaterials und einer genügenden Gewölbstärke, fähig sein müssen, das Bestreben des Abgleitens oder des Drehens der Kranzsteine zu verhindern. Sind diese Pressungen für jeden Wölbkranz bekannt geworden und somit für jede Wölb-schicht eines Meridianstreifens gefunden, so läßt sich dieses System von Kräften, in entsprechende Verbindung gebracht, zur Stabilitätsuntersuchung des ganzen Meridianstreifens benutzen.

Um die in den Stoßflächen der Kranzsteine entstehenden Pressungen, wobei zunächst auf die Elasticität der Wölbsteine und auf die stärkere oder geringere Binfähigkeit des Mörtels keine Rücksicht genommen werden soll, zu ermitteln, können die folgenden Fälle in Behandlung treten.

326.
Pressungen
der
Stoßflächen
Erster Fall.

Fig. 518.



a) In Fig. 518 ist Aa die Richtung der Erzeugenden einer Lagerfugenfläche in der Kräfteebene. Ihre Neigung zur Wagrechten sei gleich dem Reibungswinkel $cab = \angle \rho$ des Wölbmaterials. Die Richtungslinie G des im Schwerpunkte des Kranzsteines angreifenden Gewichtes treffe die Erzeugende A im Punkte a der Lagerfläche des Steines. Das in a auf Aa errichtete Loth ab schliesse mit der Krafrichtung G den Winkel $cab = \angle \rho$ ein. In diesem Falle ist nach der Lehre von der schiefen Ebene die Grenzlage für die Erzeugende Aa erreicht, wobei eben noch ein Gleiten des Steines verhindert wird. Da außerdem, vermöge der Lage des Punktes a der Krafrichtung G innerhalb der Lagerfläche des Kranzsteines, durch die Kraft G

keine Drehung dieses Steines um eine seiner Kanten eintreten kann, so werden im Systeme eines derartig gelagerten und durch Gewichte beanspruchten Kranzes keinerlei Pressungen in den Stosflächen erzeugt. Dasselbe gilt, selbst wenn die Krafrichtung G durch eine Kante geht.

Schließt die Erzeugende Aa mit der Wagrechten einen kleineren Winkel als den Reibungswinkel ρ ein, bleibt a innerhalb des Gebietes der Lagerfläche, so können ebenfalls in den Stosflächen des Kranzes keine Pressungen entstehen.

317.
Zweiter Fall.

b) Bleibt der Angriffspunkt a der Krafrichtung G in der Lagerfläche, wird aber der Neigungswinkel der Erzeugenden Ba zur Wagrechten grösser als der Reibungswinkel ρ , so hat der Kranzstein kein Bestreben, sich um eine Lagerkante zu drehen; wohl aber ist sein Ruhezustand in Bezug auf das Herabgleiten gestört. Um dieses Abwärtsgleiten zu verhindern, müssen im Kranzkörper Kräfte thätig werden, welche als Pressungen in den seitlichen Stosflächen mit solcher Grösse sich einzustellen haben, daß die aus diesen Seitenkräften entstehende Mittelkraft den Gleichgewichtszustand wieder herzustellen vermag.

Hinsichtlich der Grösse dieser Mittelkraft und danach auch der Grösse der Pressungen in den Stosflächen ist zu bemerken, daß dieselbe ein solches Maass annehmen hat, als zur Herstellung des Gleichgewichtes eben nothwendig ist, daß also ein Mehraufwand in diesem Kraftmaasse nicht berechtigt ist. Dieses eben nothwendige Kraftmaass drückt mithin einen Grenzwert für die in Rechnung zu ziehende Mittelkraft aus; dieser Grenzwert hat demnach in jedem besonderen Falle einen in Anwendung zu bringenden möglichst kleinsten Werth, welcher eben so wohl frei von einem Kraftmangel, als auch frei von einem Kraftüberschuß aufzutreten hat.

Unter Bezugnahme auf Fig. 518 wird die erwähnte Mittelkraft H der Pressungen möglichst klein, wenn dieselbe durch den höchsten Punkt f der oberen Lagerkante des Kranzsteines geht, wagrecht gerichtet ist und in der lothrechten Halbirungsebene des Meridianstreifens bleibt, welchem der zur Mittelebene symmetrisch geformte Stein zugewiesen ist. Diese Mittelebene enthält auch das Gewicht G des Steines sammt seiner etwaigen Belastung, ist also eine Kräfteebene.

Eine zweite Kräfteebene, wagrecht durch H geführt, enthält die symmetrisch zu H gelegenen Pressungen der Stosflächen als ihre Seitenkräfte. Diese besitzen gleiche Grösse und sind senkrecht zu den Seitenebenen des Meridianstreifens gerichtet.

Das in a auf Ba errichtete Loth ab schließt mit der Richtung G einen Winkel bae ein, welcher grösser ist, als der Reibungswinkel $bac = \rho$. Damit das Abgleiten des Kranzes, dem der Stein angehört, nicht eintritt, müssen die vorhin bezeichneten Seitenpressungen mit der möglichst kleinsten Mittelkraft H thätig werden.

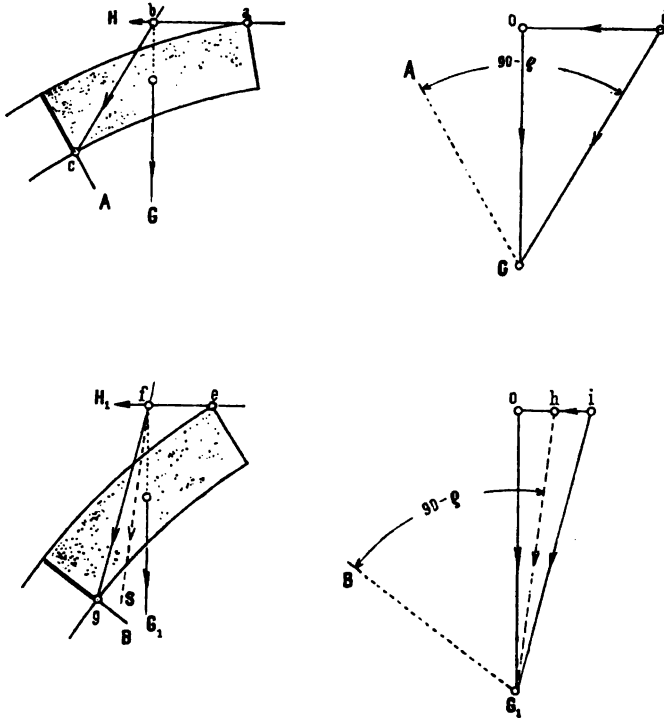
Um diese Kraft H zu bestimmen, muß die Resultirende R aus dem Gewichte G und der noch unbekannten Kraft H eine solche Lage annehmen, daß sie die Erzeugende Ba in einem Punkte h innerhalb der Lagerfläche trifft und mit dem in h auf Ba errichteten Lothe einen Winkel einschließt, welcher die Grösse des Reibungswinkels nicht überschreitet. Würde die Lage dieser Resultirenden so fest gesetzt, daß dieselbe mit dem Lothe auf Ba einen Winkel einschließen sollte, welcher kleiner als der Reibungswinkel ausfiele, so würde H wachsen, was unzulässig erscheinen muß.

Bringt man daher die Richtung G mit der wagrechten Strecke H in g zum Schnitte, zieht man durch g den Strahl R parallel zum Schenkel ac des Reibungs-

winkels ρ , dessen zweiter Schenkel auf Ba lothrecht genommen wurde, so ist die Lage der Mittelkraft aus G und H bestimmt. Die GröÙe von R und von H ist mit Hilfe des Kräfteplanes oGi leicht zu finden. In demselben stellt oG die GröÙe des Gewichtes vom Kranzsteine dar; Gi ist parallel zu R und oi parallel zu H gezogen, so daß nunmehr iG gleich der GröÙe von R , io gleich der Kraft H ist.

Um das Zeichnen der Schenkel des Reibungswinkels ρ am Wölbsteine zu vermeiden, hat man aus leicht ersichtlichen Gründen nur nöthig, im Kräfteplane selbst den Strahl GB parallel zur Erzeugenden Ba zu ziehen und an GB den Winkel $90 - \rho$ anzutragen. Der Schenkel Gi dieses Winkels muß alsdann ebenfalls parallel zu ac sein.

Fig. 519.



318.
Dritter Fall.

c) Schneidet die Kraft-
richtung G die Lagerfläche
des Kranzsteines nicht, ist
der Neigungswinkel der Er-
zeugenden Ac in Fig. 519
zur Wagrechten größer als
der Reibungswinkel ρ ; so
hat der Stein das Bestreben,
sich um die Lagerkante c zu
drehen und außerdem auf
der Lagerfläche zu gleiten.

Die Mittelkraft H der in
den Stosßfugen des Kranzes
zur Herstellung des Gleich-
gewichtszustandes wach ge-
rufenen Pressungen muß also
denjenigen möglichst kleinen
Werth annehmen, welcher
ausreicht, jene Drehung und
jenes Gleiten zu verhindern.

Die Resultirende aus G
und der durch den höchsten
Punkt a der oberen Lager-

kante des Steines gerichteten Kraft H muß also zunächst eine solche Lage bc annehmen, daß sie durch den Drehpunkt c der unteren vorderen Lagerkante geht und sodann mit der Senkrechten auf Ac einen Winkel einschließen, welcher kleiner oder mindestens gleich dem Reibungswinkel ρ , aber niemals größer als ρ wird.

Für die Erzeugende Ac ergibt sich nach dem Kräfteplane, daß die Mittelkraft dG in der Richtung bc auch mit der Senkrechten auf ac gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel ρ einschließt, so daß die Strecke do die GröÙe der Mittelkraft H ergibt, welche ausreicht, um das Gleichgewicht des Kranzsteines aufrecht zu erhalten.

Für eine Erzeugende Bg dagegen würde, in Rücksicht auf Gleiten allein, eine Mittelkraft S aus G , und der im Kräfteplan hierfür gefundenen, in der Wagrechten ef wirkenden Kraft ho nicht durch den Drehpunkt g der unteren Lagerkante gehen; also der Stein nach wie vor eine Drehung um diese Kante vollziehen. Hiernach genügt die Kraft ho noch nicht zur Herstellung des Gleichgewichtszustandes. Die

Pressungen im Kranze müssen wachsen, und zwar in der Weise, daß ihre Mittelkraft H , für einen Stein des zugehörigen Meridianstreifens eine GröÙe erhält, welche die Resultirende aus G , und dieser Kraft H , so weit zurück treibt, bis diese neue Resultirende durch den Drehpunkt g läuft. Zieht man also durch den Schnitt f der Kraft G , und der Wagrechten ef den Strahl fg , so ist hiermit die Lage der bezeichneten Resultirenden gefunden. Zeichnet man im Kräfteplane G, i parallel zu fg , so ergibt sich in iG_1 ihre GröÙe und zugleich in io die GröÙe der für das Gleichgewicht nothwendigen Mittelkraft H . Da die Resultirende iG , in ihrer Richtung fg mit der Normalen einen Winkel einschließt, welcher um $\angle iG, h$ kleiner wird, als der Reibungswinkel ρ , so ist bei dem Herrschen der Kraft $H = io$ auch Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten vorhanden.

Nach diesen Erörterungen ist für einen beliebig genommenen Kranzstein eines Meridianstreifens mgb in Fig. 520 das bei der Untersuchung des Gleichgewichtes in Frage kommende Kräftesystem zusammen getragen.

In der Richtung he wirkt die gesuchte Mittelkraft H der in den Seitenflächen mg und mb in g und b entstehenden Pressungen P, P . Setzt man das Gewicht G in d mit der unbekannten, aber in he liegenden Kraft H zusammen, errichtet man auf der Erzeugenden mf der Lagerfläche des Steines das Loth mn und trägt man den Winkel nmo als Reibungswinkel ρ an; so muß die Resultirende K aus G und H in Rücksicht auf Gleichgewicht gegen Gleiten parallel mit om gerichtet sein. Der Strahl df entspricht dieser Lage. Da G und die Richtung der Resultirenden aus G und H bekannt sind, so ergeben sich die GröÙe de für die somit gefundene Kraft H und die GröÙe dK für die Resultirende K . Letztere trifft die Lagerfläche des Steines; folglich genügt die Kraft $de = H$ auch für das Gleichgewicht gegen Drehen.

Die Pressungen P, P sind Seitenkräfte von H ; sie liegen mit H in einer wagrechten Ebene und sind senkrecht zu den Seitenflächen mg, mb des Meridianstreifens mgb gerichtet.

Zerlegt man die Kraft $H = de = Hc$ unter Benutzung der Strahlen Pc, Pc , die ihrer Lage und Richtung nach für die zu bestimmenden Kräfte P, P maßgebend werden, so liefert das Kräfte-Parallelogramm $HPcP$ in Pc und Pc die gesuchten Pressungen P, P .

Gehört ein Meridianstreifen einem reinen Kugelgewölbe an, so ergibt sich durch Rechnung eine einfache Beziehung zwischen den Pressungen P und ihrer Mittelkraft H .

In Fig. 521 ist $mk\ell$ der Grundriß eines solchen Meridianstreifens mit der lothrechten Symmetrie-Ebene mn und dem sehr kleinen Winkel φ . Der Gewölbeaufs dieses Streifens besitzt die mittlere Dicke $k\ell$; der Halbmesser des Bogens $k\ell$ ist R . Für einen Kranzstein dieses Streifens sei die in der Kugelfläche, welcher der Bogen $k\ell$ angehört, gelegene mittlere Dicke gleich gd , und der Halbmesser des Bogens gd

Fig. 520.

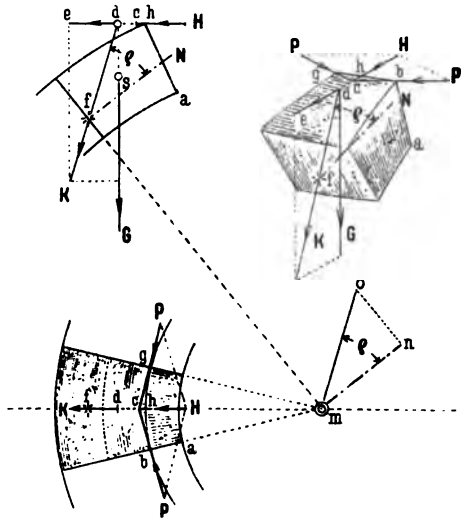
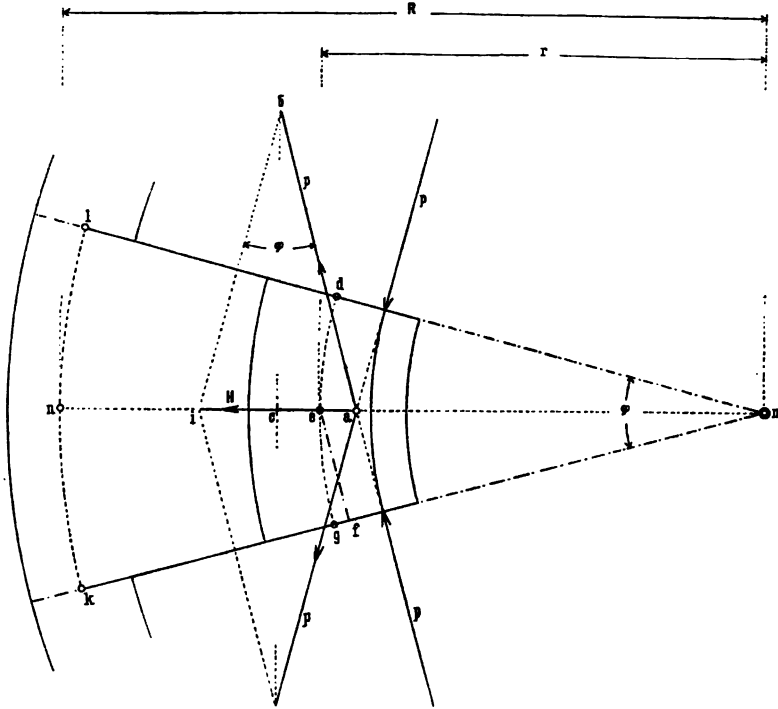


Fig. 521.



fei r . Die Mittelkraft H der Pressungen p, p an den Seiten des Kranzsteines sei bekannt und in ai gegeben.

Aus der Aehnlichkeit der rechtwinkligen Dreiecke acb und efm folgt

$$\frac{ab}{ac} = \frac{em}{ef},$$

d. h. auch, da ab der Pressung p entspricht,

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{ef}.$$

Bei der Kleinheit des Winkels φ kann die Gerade $ef = r \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$ mit dem Bogen $ge = r \frac{\varphi}{2}$ vertauscht werden, so daß

$$\frac{\frac{p}{H}}{\frac{2}{r}} = \frac{r}{\varphi} \quad \text{oder} \quad p = \frac{H}{\varphi} \dots\dots\dots 247.$$

wird.

Bezeichnet man die mittlere Dicke dg mit d , so ist $d = r\varphi$, also $\varphi = \frac{d}{r}$,
mithin nach Gleichung 247 auch

$$p = \frac{Hr}{d} 248.$$

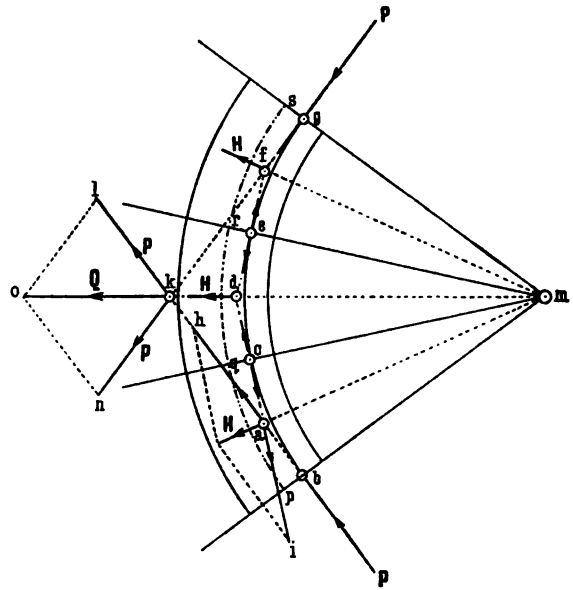
Wird kl mit D bezeichnet, so ist ferner $\frac{r}{d} = \frac{R}{D}$, wodurch sodann

[illegible]

erhalten wird.

Das Gewicht G wird meistens nach Art. 249 (S. 363) auf graphischem Wege bestimmt und danach auch der Werth der Kraft H , bezw. die GröÙe ihrer Seitenkräfte p durch Zeichnung ermittelt.

Fig. 522.



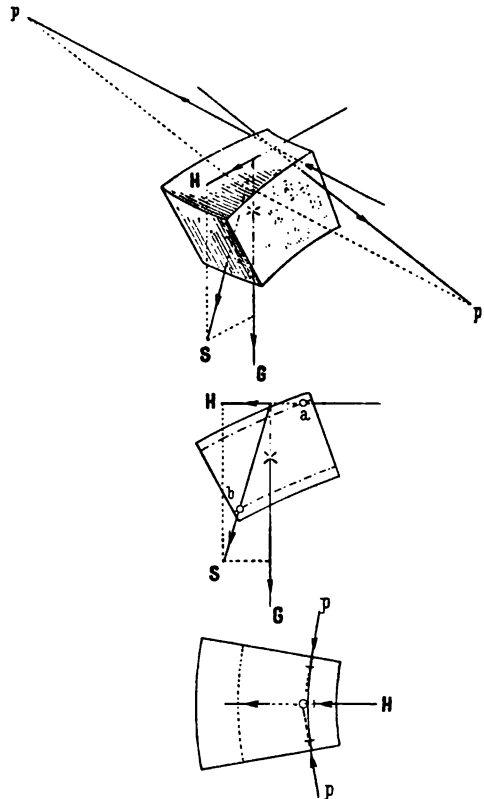
319.
Wölbkranz.

Betrachtet man eine Schar von Kranzsteinen eines Wölbbringes für mehrere neben einander liegende Meridianstreifen von gleicher GröÙe (Fig. 522), so bleiben die in den äußersten Seitenflächen mg und mb vorhandenen Pressungen P, P gleich den für einen einzelnen Meridianstreifen, z. B. mbc ermittelten Pressungen $p = q$.

Wie aus der Zeichnung zu erkennen, wirken in c , auch in e , die Pressungen der zugehörigen Elementarstreifen in einer geraden Linie, in gleicher GröÙe $p = q$ und in entgegengesetzter Richtung, sind also für sich im Gleichgewicht.

An den lothrechten Grenzebenen mg und mb des Stückes eines Wölbkranzes bleiben also die Pressungen P, P übrig, welche offenbar dieselbe GröÙe wie die Seitenkräfte $p = q$ von H des Streifens mbc besitzen müssen. Diese Pressungen P liegen in einer wagrechten Ebene, welche durch die obere Lagerkante gb am Wölbkranze geführt werden kann; sie stehen je für sich senkrecht zu den Ebenen mg , bezw. mb und lassen sich in k zu einer Mittelkraft Q vereinigen, welche zugleich die Resultirende der Kräfte H der einzelnen Kranzsteine sein muß. Legte sich das Kranzstück mgb in den Seitenebenen mg und mb gegen besondere Widerlagskörper, so hätten diese den Kräften P zur Herstellung des Gleichgewichtes einen gleich großen Widerstand zu leisten.

Fig. 523.



320.
Formänderung.

Bei den geführten Untersuchungen sind die Elasticität des Wölbmaterials und die damit im Zusammenhange stehende Formänderung des Wölbkörpers, welche die an einem Kranzsteine, bezw. an dem ganzen Kranze thätigen Kräfte bewirken, außer Acht gelassen. Aus Gründen, welche bereits in Art. 141 (S. 194) angeführt sind,

sonderen Betrachtung über Kuppelgewölbe — noch weiter verfolgt werden soll, unter Beobachtung der in Art. 315 (S. 460) behandelten und eintretenden Fälle

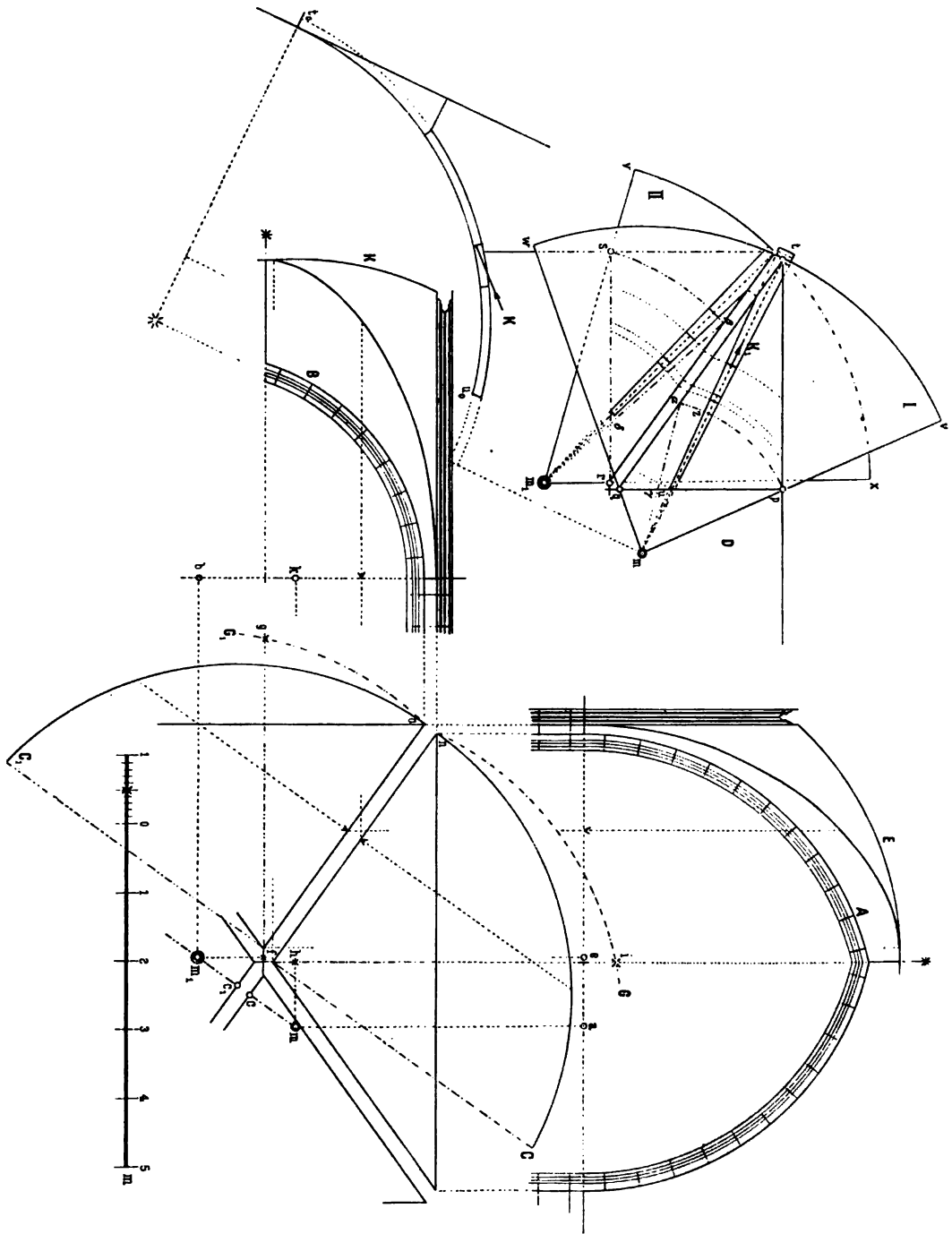


Fig. 525.

fort, so gelangt die statische Untersuchung des Meridianstreifens sowohl in Bezug auf die Pressungen in den Stoßflächen, als auch auf die Drücke in den Lagerflächen zum Abschluß.

Hätte man die Kräfte n_o und u_n zu einer Mittelkraft T und eben so die Gewichte 1 und 2 zu einem resultirenden Gewichte W zusammengesetzt, diese in ihrem Schnitte s angreifen lassen, so würde die durch s parallel zu u_2 gelegte Resultirende S ebenfalls durch den Punkt r gehen.

Die besprochenen, für die Stabilitäts-Untersuchung der Kuppelgewölbe wichtigsten Punkte lassen sich unmittelbar auf die Prüfung der Standfähigkeit der bußigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe übertragen. Da die sphäroidischen, nicht nach reinen Kugelflächen gewölbten Kappen doch im Allgemeinen in Rücksicht auf ihre praktische Ausführung nur wenig von der Kugelfläche abweichen, sondern fast immer in ihren Laibungsflächen kugelähnlich gestaltet werden, so entsteht kein großer Fehler, wenn auch diese sphäroidischen Kappen bei der statischen Untersuchung wie die mit Kugelflächen behafteten Kappen behandelt werden.

322.
Gewölbekappen.

Für das Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde in Fig. 525 sind A und C , bzw. B und C die nach Kreisbogen genommenen Ansatzlinien der Gewölbfächen. Die Mittelpunkte dieser Kreisbogen liegen in der wagrechten Kämpferebene; m und m_1 sind die Kugelmittelpunkte für das Kappenstück zwischen A und C , bzw. zwischen B und C . Der größte Kreis des ersten Stückes ist in G , der des zweiten Stückes in G_1 auf bekanntem Wege ermittelt.

Unter Benutzung der größten Kreise werden die Kugelfstücke der Kappen in schmale, lothrechte Meridianstreifen zerlegt. Für jede Kappe sind den einzelnen Streifen gleiche Winkel zu geben; auch ist, wie im Plane D gezeigt, thunlichst eine gleichmäßige Anordnung in Bezug auf die Symmetrie-Ebenen mt und m_1t_1 der längsten Streifen zu treffen. Ist die wagrechte und lothrechte Projection, wie ut , u_0t_0 eines größten Meridianstreifens bestimmt, so ist dieses Gewölbstück für sich einer statischen Untersuchung zu unterwerfen, um danach ohne Weiteres die Stabilitätsverhältnisse der übrigen in den zugehörigen Kappenstücken noch vorhandenen, aber kürzeren Streifen, gleiche Stärke und Belastung vorausgesetzt, ableiten zu können.

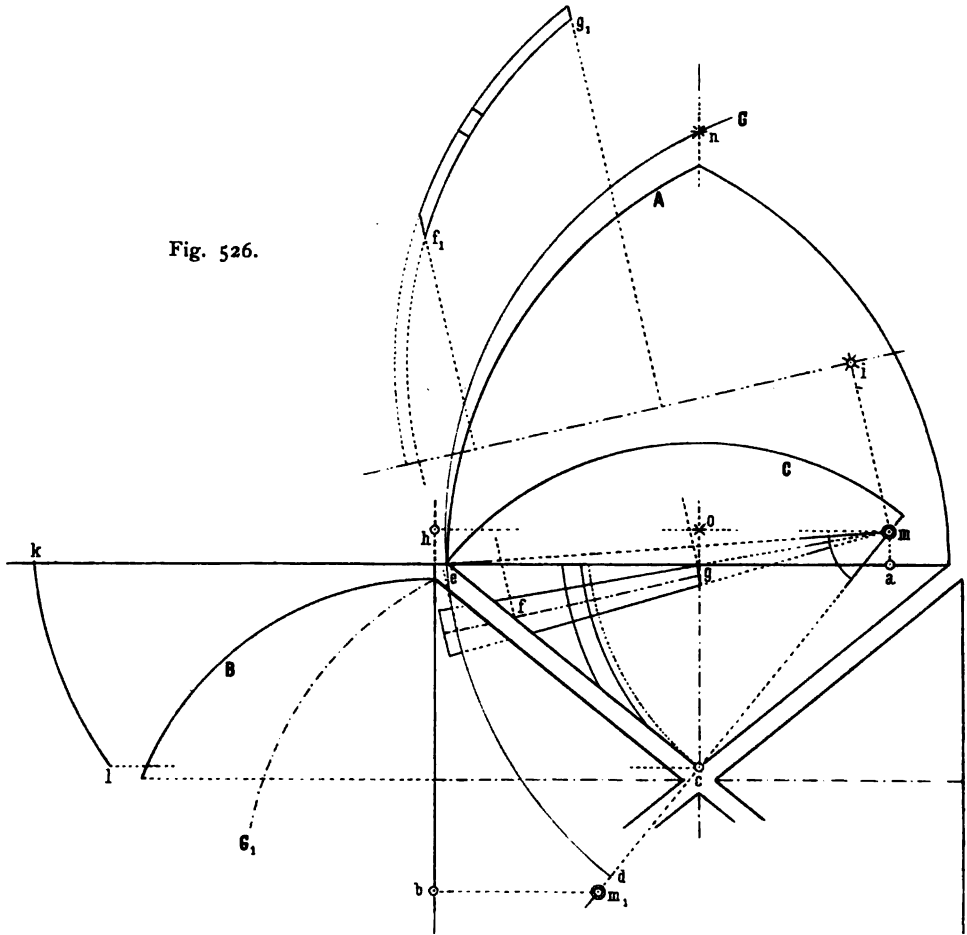
Beim Zerlegen der Kappenstücke in Meridianstreifen ergeben sich weiter in Rücksicht auf die Scheitellinien qp der Kugelfläche I , mit dem größten Kreise vw , und rs der Kugelfläche II , mit dem größten Kreise xy , durch die Ringlinien pa , bzw. $\beta\beta$ und durch die Scheitellinien qp , bzw. rs bestimmt begrenzte Gebiete qap und $r\beta s$, welche die in den lothrechten Scheitelebenen pq und sr entstehenden Pressungen besonders beeinflussen.

Steht die lothrechte Axe der Kugelfläche, welche die Laibung eines Kappenstückes liefert, wie in Fig. 526 bei m , außerhalb des eigentlichen Gewölbefeldes, so ist nach dem Festlegen ihres größten Kreises G wiederum nur ein zweckmäßiges Zerlegen des Kappenstückes in schmale Meridianstreifen vorzunehmen. Der größte dieser Streifen, wie z. B. gf mit der lothrechten Projection g,f , ist für die statische Untersuchung zu Grunde zu legen.

In jeder Beziehung ist die Ermittlung der Seitenpressungen, welche die bußigen Kappen auf die stützenden Rippenkörper ausüben, von Bedeutung.

Ist nach Fig. 527 das Zerlegen der Kappen in Meridianstreifen vorgenommen, so kann man, z. B. für den größten Streifen $hfe g$, die in der besonders stark gezeichneten Kranzschicht entstehende wagrechte Kraft H ganz im Sinne der Ausführungen in Art. 319 (S. 466) und danach die Pressungen P an den Stoßflächen des zugehörigen Kranzsteines bestimmen. Diese Pressungen P sind für sämtliche Kranzsteine des Wölbringes in Betracht zu ziehen. Dieselben machen sich sowohl

Fig. 526.



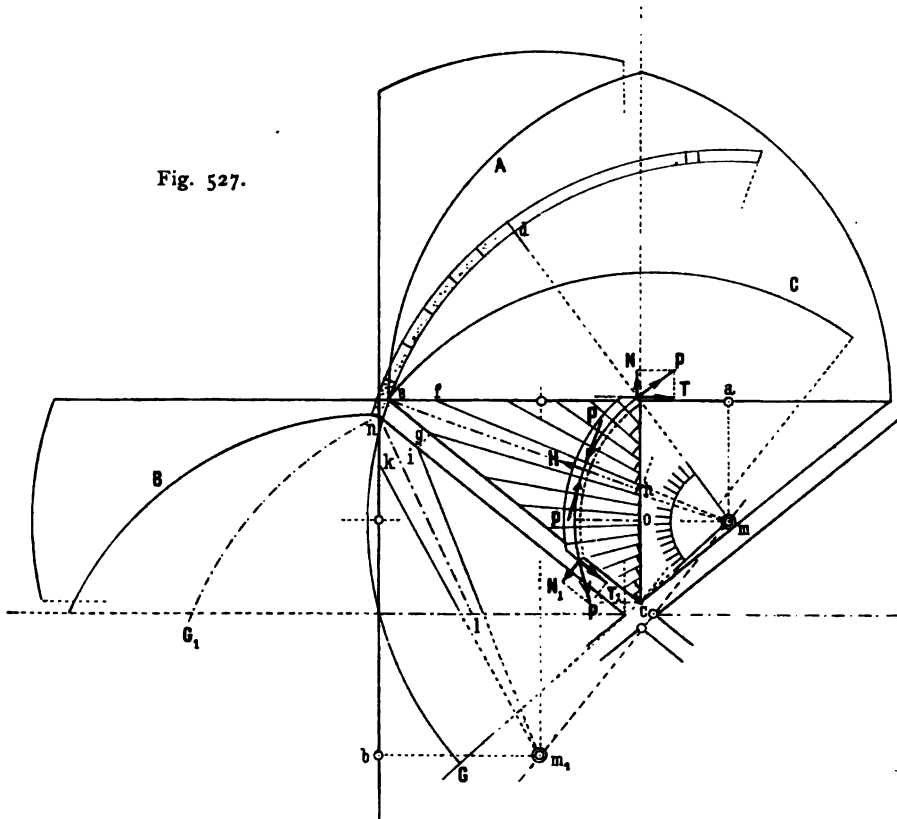
in den Ansatzflächen der Kränze, so fern die Kräfte in den Stoßflächen bei einzelnen Ringschichten nicht gleich Null werden, am Randbogen der Seite ea , als auch am Diagonalbogen ec geltend. Sie sind auch hier bei einer normalen Stellung zu den äußersten Meridianebenen der Kranzschicht wagrecht gerichtet und kennzeichnen unmittelbar die Beanspruchung der stützenden Rippenkörper durch diese Kräftegruppe der Kappenwölbung.

Nach dem Zerlegen der Pressungen P in die Seitenkräfte N und T , bzw. N , und T , rechtwinkelig zu den Ebenen der Rand- und Diagonalbogen, bzw. in diese Ebene fallend, läßt sich hiermit unter Berücksichtigung des in Art. 253 (S. 375) Vorgetragenen die weitere statische Untersuchung dieser Bogenkörper in Verbindung bringen.

Ergeben die Pressungen P der Stoßflächen der einzelnen Kranzschichten auch sofort die Größe der hierdurch eintretenden Seitenschübe für die Rippenkörper, so sind damit doch zunächst die Pressungen noch nicht klar gelegt, welche durch die innerhalb der bei Fig. 525 erwähnten Gebiete der Scheitellinien der Kappen befindliche Wölbung in den senkrechten Ebenen dieser gekrümmten Scheitellinien bei dem Zusammenschnitt der Wölbschichten entstehen.

Die Bestimmung der Größe dieser nach den Scheiteln der Rand- und Diagonalbogen gelangenden Pressungen soll besonders nach Fig. 528 vorgenommen werden.

Fig. 527.

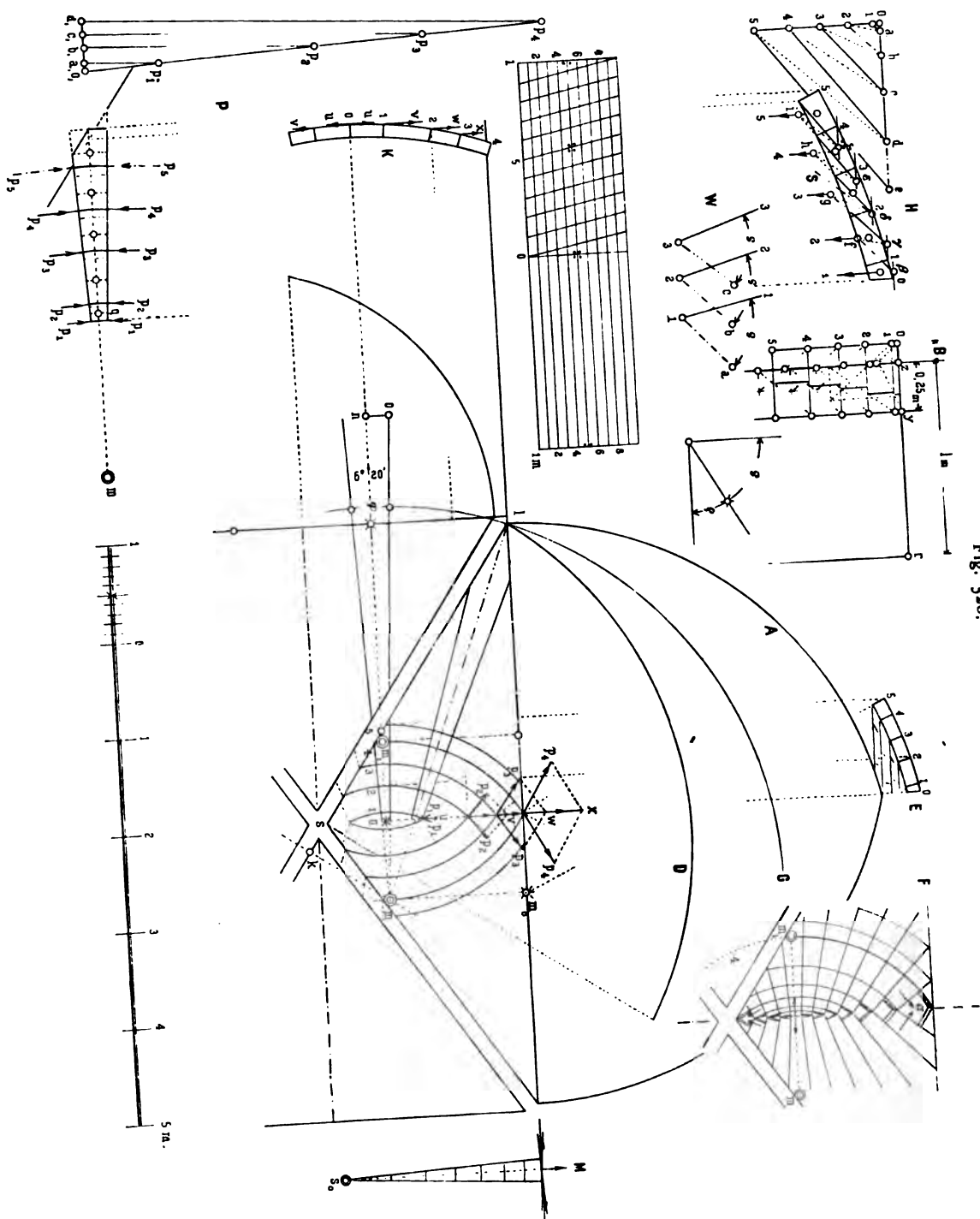


Zerlegt man das Kappengebiet mit den Kugelmittelpunkten m und m_1 , welche für die beiden in der Scheitellinie sv zusammengefügt Kappentheile maßgebend werden, in einzelne symmetrisch zur Scheitellinie geordnete Meridianstreifen, so bleiben, wie aus dem Plane F zu ersehen ist, an ihrer oberen Begrenzung im Allgemeinen noch Lücken. Zur Herstellung eines Widerlagers für die an den Lücken endigenden Kranzschichten ist das Einfügen von Schlufssteinen erforderlich, welche die Seitenpressungen der Kränze aufzunehmen haben. Werden diese symmetrisch zur lothrechten Ebene der Scheitellinie liegenden Pressungen zu Mittelkräften vereinigt und diese unter Umständen noch mit den an sich äußerst geringfügigen Gewichten der einzelnen Schlufssteine verbunden, so erhält man die in jener Ebene der Scheitellinie wirkenden Schübe, welche sich nach den Rand- und Diagonalbogen fortpflanzen.

Dafs derartige Schübe vorhanden sein müssen, zeigt die folgende Ueberlegung. Bestände die Kappe, statt aus zwei Kugelstücken mit den Mittelpunkten m und m_1 , nur aus einem Kugelstücke mit dem Mittelpunkte in s oder in einem sonstigen Punkte auf der wagrechten Projection der Scheitellinie sv , so würde, wie der Plan M angiebt, die Scheitellinie in der Symmetrie-Ebene s_0M eines Meridianstreifens liegen, und die Mittelkraft M der Seitenpressungen, welche am untern Kranzsteine in diesem Streifen entsteht, würde nothwendig auf Rand- und Diagonalbogen gelangen müssen.

Für das Gebiet der Scheitellinie, welches in der Zeichnung durch die Fläche vm_1smv begrenzt ist, sind die Wölbkränze o bis q angenommen.

Fig. 528.



Der grösste Meridianstreifen ist p, l mit der Symmetrie-Ebene ml . Sein Winkel φ ist mittels des rechtwinkligen Dreieckes onm durch

$$\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{on}{nm} = \frac{0,275}{5} = 0,55,$$

d. h. $\frac{\varphi}{2} = 3^{\circ} 10'$ und $\varphi = 6^{\circ} 20'$ gefunden.

Die statische Untersuchung dieses Meridianstreifens ist in den Plänen H und P für 5 Wölbsteine nach der Grundriss-Projection o_5 und der lothrechten Projection E im vergrößerten Maßstabe ausgeführt.

Um die Strecken für den Rauminhalt, bzw. für die Gewichte der Kranzsteine, welche nur $0,12$ m Höhe besitzen, ohne eine besonders große Zeichnung anzufertigen, doch in einer Größe darzustellen, welche zur scharfen grapho-statischen Behandlung geeignet ist, kann man die in Art. 249 (S. 363) näher angegebene Bestimmung solcher Strecken noch mit einer weiteren, beliebig gewählten Vergrößerung in einfacher Weise durch Zeichnung versehen.

Benutzt man zum Zwecke der Vergrößerung jener Strecken eine besondere Grundlinie zy kleiner als 1 m, also statt der im Art. 239 (S. 364) in Fig. 441 gezeichneten Strecke zo gleich 1 m, eine weit kleinere Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., so entsteht nach Gleichung 232 (S. 363) $\frac{x}{1} = \frac{w}{d}$ nunmehr in Rücksicht auf die Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., weiter der Ausdruck $\frac{x}{\frac{1}{n}} = \frac{w}{d}$, woraus $w = nx d$ folgt. Hier-

nach wird w in n -facher Vergrößerung erhalten. Im Plane H ist $zy = 0,25$ m $= \frac{1}{4}$ m gewählt. Da $n = 4$ ist, so wird w sofort 4-fach vergrößert dargestellt.

Da endlich die Basis $B = 0,1 = \frac{1}{10}$ m angenommen wurde, so ist im Ganzen durch $\frac{1}{n} B = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{40}$ eine 40-fache Vergrößerung der Strecke für die Rauminhalte der Kranzsteine in der Zeichnung gewonnen.

Im Uebrigen ist die Bestimmung der Rauminhalte, bzw. der Gewichte dieser Steinkörper nach den im Art. 249 (S. 363) gemachten Angaben getroffen.

Soll nun der Rauminhalt v , z. B. des Wölbsteines \mathcal{J} , zahlenmäßig ausgedrückt werden, so ist die zugehörige Strecke $z\mathcal{J}$ im Inhalts- oder Gewichtsplane zu messen. Ihre Länge beträgt $0,15$ m. Hiernach ist unter Berücksichtigung der 40-fachen Vergrößerung der Inhalt

$$v = 0,15 \cdot \frac{1}{40} \text{ cbm} = 0,00375 \text{ cbm}.$$

Aus dem Grundriss P des Meridianstreifens ergibt sich für den Stein \mathcal{J} durch Messung eine mittlere Dicke, welche durch den Weg seines Schwerpunktes innerhalb des Streifens bestimmt ist, zu $0,125$ m; seine Querschnittsfläche wird nach dem Plane H zu $0,12 \cdot 0,25 \text{ qm} = 0,03 \text{ qm}$ gefunden; folglich ist sein Inhalt $v = 0,03 \cdot 0,125 \text{ cbm} = 0,00375 \text{ cbm}$, wie vorhin. Wiegt 1 cbm Wölbmaterial, z. B. Backstein, 1600 kg , so ist das Gewicht des Steines \mathcal{J} gleich $0,00375 \cdot 1600 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$.

In Uebereinstimmung mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Gefagten ist unter Benutzung des Gewichtsplanes B die Stabilitäts-Untersuchung des Meridianstreifens o_5 im Plane H auf graphischem Wege ausgeführt.

Für den ersten Stein trifft die Gewichtslinie 1 die durch o geführte Wagrechte im Punkte β . Der Strahl βf , parallel mit dem Schenkel $1a$ des für die Fuge 1 fest gelegten Reibungswinkels $11a$ durch β gezogen, schneidet die Fuge 1 . Zieht man im Plane H den Strahl $1a$ parallel zu βf , bzw. parallel zum Schenkel $1a$ des Reibungswinkels $11a$, so erhält man in der Strecke ao des Planes a die Mittelkraft der Seitenpressungen des ersten Kranzsteines und in $a1$ den Druck auf die Lagerfläche 1 . Die Kraft-richtung βf schneidet die Gewichtslinie 2 im Punkte f .

Ein Strahl $f\gamma$, parallel zur Mittelkraft aa der Kräfte ao und oa geführt, liefert auf der durch 1 gezogenen Wagrechten den Punkt γ . Eine Linie γg parallel zum Schenkel $2b$ des für die Fuge 2 gezeichneten Reibungswinkels $22b$ genommen, trifft wiederum die Fuge 2 . Man kann also ohne Weiteres auch im Plane H den Strahl $2b$ parallel zu γg oder, was dasselbe ist, parallel zum Schenkel $2b$ des

Reibungswinkels $\alpha\alpha b$ ziehen, um in ba die Mittelkraft der Seitenpressungen des zweiten Kranzsteines und in ba den Druck für die Lagerfuge α zu erhalten. Beim dritten Kranzsteine schneidet die durch g parallel zu $b\beta$ geführte Kraftstrecke die durch α gezogene Wagrechte im Punkte δ . Der durch δ parallel zum Schenkel βc des Reibungswinkels $\beta\beta c$ der Fuge β gelegte Strahl S trifft die Fuge β nicht mehr. Deshalb muß zur Bestimmung der Mittelkraft cb der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines nach dem in Art. 318 (S. 463) behandelten dritten Falle die von δ ausgehende Krafrichtung δh durch den tiefsten Punkt der Fuge β gelegt werden. Nimmt man hiernach βc parallel zu δh , so ist cb die gesuchte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines und $c\beta$ der Druck in der Lagerfuge β . Da für die Fuge β der Reibungswinkel $\beta\beta c$ die Bestimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinflusst, so kann die weitere Zeichnung der Reibungswinkel für die Fuge γ u. f. f. unterbleiben. Der Strahl δh schneidet die Gewichtslinie γ im Punkte h . Die durch h parallel zur Resultirenden $c\gamma$ der Kräfte $c\beta$ und $\beta\gamma$ gezogene Gerade hs trifft die durch β gelegte Wagrechte in s . Von s aus braucht man nur einen Strahl si durch den tiefsten Punkt γ zu legen, um, nachdem im Plane H durch γ eine Parallele zu si gezogen ist, in der Strecke dc die Mittelkraft der Seitenpressungen des vierten Kranzsteines und in $d\gamma$ die Pressung in der Lagerfuge γ zu gewinnen. Führt man in dieser Weise fort, so kommt man an eine Fuge, welche ohne Weiteres bei genügender Gewölbstärke nicht mehr außerhalb, sondern innerhalb ihrer Begrenzungspunkte von den Mittelkräften, wie solche in den Strahlen $c\gamma$, $d\delta$ u. f. f. sich ergeben, geschnitten werden. Alsdann treten überall für die zugehörigen Kranzsteine keine Bestimmungen von Seitenpressungen mehr ein. Durch einfache Zusammensetzung der für die noch folgenden Fugen in Frage kommenden Kräfte, welche im Allgemeinen nicht mehr unmittelbar von dem Reibungswinkel und den Lagerkanten abhängig gemacht werden, ist alsdann, wie sich später bei der Untersuchung eines größeren Kuppelgewölbes noch zeigen wird, die Weiterführung der Stabilitäts-Ermittelungen in Bezug auf die Drücke in den Lagerflächen zu beforgen.

Da nunmehr die Mittelkräfte ao , ba , cb , dc der Seitenpressungen der Kranzsteine für die im Wölbgebiete vm, smv der Scheitellinie liegenden Ringschichten bekannt geworden sind, so lassen sich diese Pressungen selbst wiederum durch Zeichnung, wie der Plan P kenntlich macht, leicht bestimmen. Die Pressungen p_1 , p_2 u. f. f. liegen in wagrechten Ebenen und stehen senkrecht zu den Seitenebenen des Meridianstreifens.

Nimmt man im Plane P die Strecke oa , gleich der wagrechten Mittelkraft ao für die Seitenpressungen am ersten Kranzsteine des Planes H , zieht man op , und ap , parallel zu den senkrechten Strahlen p , des Meridianstreifens m , so erhält man in den Strecken op , bzw. pa , die gesuchten Seitenpressungen.

Für den zweiten Kranzstein ist ob , $= ba$ des Planes H . Die Strecken op_1 , bzw. p_1b geben die Seitenpressungen dieses Steines u. f. f. Sollten die Seitenpressungen, z. B. für den dritten Stein, durch Rechnung unter Benutzung der hierfür auf graphischem Wege gefundenen Mittelkraft cb des Planes H bestimmt werden, so ist Gleichung 247 (S. 465) anzuwenden. Man erhält hiernach

$$p_3 = \frac{cb}{\varphi}.$$

Da der Winkel φ zu $6^\circ 20'$ ermittelt war, so ist die Bogenlänge φ bei einem Halbmesser 1 gleich 0,1105. Die Strecke cb mißt 0,19 Met., bzw. Cub.-Met. Hiernach wird

$$p_3 = \frac{0,19}{0,1105} = \infty 1,73 \text{ cbm.}$$

Die Zeichnung liefert $p_3 = o_1 p_3 = 1,75 \text{ cbm.}$

Die Rauminhalte, bzw. Gewichte sind jedoch in 40-facher Vergrößerung gezeichnet; mithin ist $p_3 = \frac{1,75}{40} = \infty 0,044 \text{ cbm}$ zu setzen, wofür bei Backsteinmaterial ein Gewicht von $0,044 \cdot 1600 \text{ kg} = 70 \text{ kg}$ entsteht.

Setzt man die in den Kränzen des Scheitelgebietes vm, smv wirkenden Seitenpressungen, wie in Art. 319 (S. 466) und in der Zeichnung angegeben ist, der Reihe nach zu Mittelkräften u , v , w , x zusammen, so ergibt sich aus dem Plane K die Beanspruchung des Randbogens und der Diagonalbogen durch dieses in der Scheitelebene sv wirkende Kräftesystem.

Die Vereinigung dieses Systemes mit den, meistens jedoch in geringer GröÙe auftretenden, Gewichten der Schlusssteine der früher erwähnten Lücken α liefert alsdann die in der Scheitelebene sv liegenden resultirenden Schübe für die Rand- und Diagonalbogen.

Bei Kappen mit sphäroidischer Bufung kann der im Vorhergegangenen erklärte Gang der statischen Untersuchung beibehalten werden. Die gemeinschaftliche loth-

rechte Axe der Meridianebenen, welche das Zerlegen der zu untersuchenden Kappenstücke in schmale Meridianstreifen angeben, ist die durch den Gipfelpunkt der kugelähnlichen Kappe geführte Gerade. Der Fußpunkt dieser lothrechten Axe kann auf der Kämpferebene des Gewölbes innerhalb oder außerhalb der zugehörigen Kappe liegen; für das Zerlegen dieser sphäroidischen Kappen bleiben die in Art. 322 (S. 469) für Kugelkappen angegebenen Maßnahmen bestehen.

In gleicher Weise ist auch die statische Untersuchung der Kappen bei den flachen Kreuzgewölben, den Stern- und Netzgewölben, gleichgiltig, ob dieselben nach reinen Kugelflächen oder nach sphäroidischen Flächen gestaltet sind, zu führen.

Die Stärke der Gewölbekappen kann für die Praxis nach der Größe der Pressungen, welche auf die Stofs-, bezw. Lagerflächen der Wölbkränze gelangen, berechnet werden.

323.
Stärke
der
Kappen.

Wie aus der statischen Untersuchung des oberen Theiles eines Meridianstreifens im Plane H in Fig. 528 hervorgeht, sind für die Bestimmung der Gewölbstärke eines Kranzes, bei möglichst strengem Verfahren, die Abmessungen eines Kranzsteines zu berechnen, einmal in Rücksicht auf die normalen Pressungen der Seitenflächen und sodann in Bezug auf den Druck seiner Lagerfläche. Da es an einer genauen Bekanntheit von der wirklich stattfindenden Druckvertheilung am gepressten Steine und der entstehenden Formänderung desselben mangelt, ist die bereits in Art. 136 (S. 181) angegebene, auf Erfahrung gestützte Grundlage für die weitere Durchführung der Rechnung in praktischer Beziehung zu verwerthen.

Dem Wesen der statischen Untersuchung der busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe entsprechend, kann aber bei der Berechnung der Gewölbstärke nicht, wie bei den cylindrischen Gewölben, von einem möglichst kleinsten Werthe eines Horizontalstoches in einer oberen Scheitelfuge, welcher bei Kuppelgewölben sogar gleich Null ist, sondern nur von der Größe der normalen Pressungen, welche die Stofs-, bezw. Lagerflächen eines Kranzsteines beeinflussen, füglich die Rede sein. Deshalb kann man für die Praxis die Gewölbstärke nach den für Normaldruck ermittelten Gleichungen 148, bezw. 149 (S. 186) bei der Wölbung aus Quadern, so wie nach den Gleichungen 150, bezw. 151 (S. 187) bei Backsteinmaterial von guter Beschaffenheit bestimmen. Hierbei hat man, da die Gewölbstärke in den meisten Fällen für alle Kranzschichten gleich groß genommen wird, den Normaldruck zu ermitteln, welcher auf die Fußfläche des größten Meridianstreifens einer Kappe kommt. Aber wenn auch dieselbe Gewölbstärke nicht durchweg für alle Wölbchichten, vermöge etwa sehr stark nach dem Fuße des Streifens anwachsender Drücke, beibehalten werden kann, so ist man mit Hilfe der statischen Untersuchung und der erwähnten Gleichungen doch stets in der Lage, für irgend eine Kranzschicht die Gewölbstärke ausfindig zu machen.

Beispiel. So ist in Fig. 528 (S. 472) für den Stein \mathcal{J} im Plane H eine normale Pressung $p_3 = 0,044$ cbm gefunden. Die Breite der Kranzschicht ist bei der Theilung des Meridianstreifens 0,5 zu 0,25 m angenommen; mithin muß, um die für den Normaldruck bei einer Tiefe gleich 1 m entwickelten Gleichungen benutzen zu können, der Normaldruck für die Stofsflächen des Steines \mathcal{J} berechnet werden, als

324.
Beispiel.

$$N_3 = \frac{p_3 \cdot 1}{0,25} = \frac{0,044 \cdot 1}{0,25} = 0,176 \text{ cbm.}$$

Setzt man diesen Werth in Gleichung 150 (S. 187) für N , so ergibt sich bei Backsteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0,176) 0,176} = 0,088 \text{ m;}$$

d. h. gleich einer Backsteindicke. In der Zeichnung ist in Rücksicht auf eine grössere Normalpressung am Fusse des grössten Meridianstreifens die Kranzstärke gleich $0,12 \text{ m}$, gleich einer Backsteinbreite, genommen.

Der Druck $c\mathcal{J}$ für die untere Lagerfläche des Steines \mathcal{J} ergibt sich, unter Berücksichtigung der 40-fachen Vergrößerung der Kraftstrecke $c\mathcal{J}$, im Plane H zu $\frac{0,475}{40} = \approx 0,012 \text{ cbm}$.

Nach dem Grundriss m des Meridianstreifens ist die Tiefe der unteren Lagerfläche gleich $0,12 \text{ m}$. Die aus $c\mathcal{J}$ für diese Fläche entstehende normale Seitenkraft ist etwas kleiner als $c\mathcal{J}$, möge aber hier gleich der Strecke $c\mathcal{J}$ gesetzt werden.

Hier wird der in Rechnung zu stellende Normaldruck für eine Tiefe gleich 1 m

$$N = \frac{0,012 \cdot 1}{0,12} = 0,08 \text{ cbm},$$

also kleiner, als der vorhin für die Stossflächen berechnete Werth N_3 . In diesem Falle ist der Werth für N bei der Berechnung der Gewölbstärke ausser Acht zu lassen.

Umgekehrt aber ist bei Kranzschichten, deren Normalpressungen in den Stossflächen, die selbst den Werth Null annehmen können, kleinere Gewölbstärken ergeben, als der Normaldruck der Lagerflächen fordert, der letztere zu berücksichtigen.

Hat das Gewölbe ausser seinem Eigengewicht noch eine Uebermauerung oder eine sonstige ruhende Belastung aufzunehmen, so ist diese Ueberlast, auf das Gewicht des Wölbmaterials in bekannter Weise zurückgeführt und bei der Lamellentheilung des Meridianstreifens entsprechend berücksichtigt, bei der statischen Untersuchung eben so zu behandeln, wie früher bei den belasteten cylindrischen Gewölben gezeigt wurde.

325.
Empirische
Regeln.

Im Allgemeinen bedürfen die unbelasteten bußigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe nur einer geringen Stärke. Bei der grossen Mannigfaltigkeit in der Gestaltung dieser Gewölbe sind empirische Regeln, welche alle Fälle der verschiedenen Gewölbeanlagen umfassen sollten, für die Feststellung der Kappenstärke von keinem Werthe.

Hat das Rippen- und Kappensystem in constructiver Beziehung eine richtige, ungekünstelte Anordnung erfahren, so können bei der Verwendung von gutem Backsteinmaterial, welches jetzt vorzugsweise zur Wölbung der Kappen benutzt wird, sorgfältige Ausführung und guter Mörtel vorausgesetzt, unbelastete bußige Kappen bis rund 10 m Spannweite mit 12 cm , d. h. $\frac{1}{2}$ Backstein Stärke angenommen werden.

Erfolgt die Wölbung mit geeignetem natürlichem Steinmaterial, so beträgt die Kappenstärke in der Regel nicht unter 20 cm , welche ausnahmsweise bei ausgezeichnetem Material wohl bis zu 10 cm herabsinkt. Bei belasteten Kappen sind die angegebenen Stärken zu vergrößern. Den besten Aufschluß über die anzunehmende Gewölbstärke wird man immer durch die ohne grosse Mühe auszuführende statische Untersuchung der Kappen erhalten.

3) Stabilität der Gewölberippen.

326.
Gewölberippen.

Die Rippenkörper der gothischen Kreuzgewölbe sind in den meisten Fällen Bestandtheile cylindrischer Gewölbe, deren Bogenlinie, abgesehen von einem Halbkreise oder einem Korbogen, am häufigsten als Spitzbogen mit Kreisbogenchenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derselben lothrechten Ebene und ist die Belastung beider Bogenchenkel dieselbe, so bildet der Rippenkörper ein cylindrisches, symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes Gewölbstück. Eben so können auch Rippenkörper in besonderen Fällen als einschenkelige Theile eines Spitzbogens und somit als einhüftige oder ansteigende Bogen auftreten. Wie nun auch an sich Form, Anordnung und Belastung der Rippenkörper sein mögen; stets sind für ihre statische Untersuchung die für die

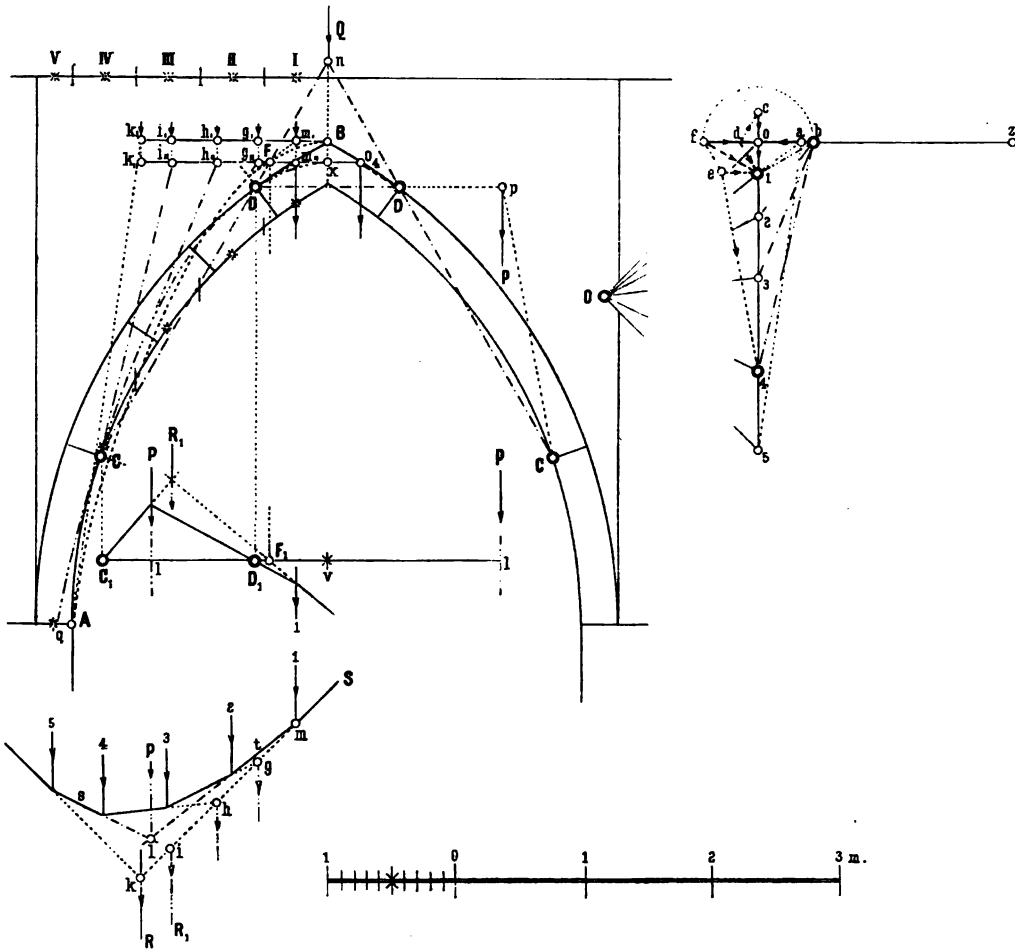
Ermittlung des Gleichgewichtes cylindrischer Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtschnur zu nehmen.

Für die Stabilitäts-Untersuchung eines symmetrisch geformten und symmetrisch belasteten Spitzbogengewölbes ist Fig. 529 als Beispiel in Betracht gezogen.

Die Tiefe des Gewölbes sei gleich 1 m. Nach bekannter Zerlegung in Theilstreifen *I, II* u. f. f. und Bestimmung der Gewichte *oI, I2* u. f. f. dieser prismatischen Theilkörper unter Benutzung der Reductions-Basis *os = 2 m*, ist unter Annahme eines möglichst kleinsten, durch den höchsten Punkt *B* der gedachten Scheitelfuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbschubes für die Gewölbhälfte *BA*

327.
Spitzbogen-
gewölbe.

Fig. 529.



eine Mittellinie des Druckes für die Punkte *B* und den vorderen Punkt *A* der Widerlagsfuge gezeichnet. Dieselbe verläuft jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wöblinie; sie kennzeichnet in den Punkten *D* und *C* zwei Bruchfugen, und folglich ist der für diese vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontal Schub *ao* noch nicht fähig, den Gleichgewichtszustand im Wölbsystem herzustellen.

Hiernach tritt die Aufgabe heran, eine Mittellinie des Druckes zu finden, welche, mit einem größeren Horizontalstöße behaftet, durch die Punkte *D* und *C* geht und dem entsprechend eine tiefere Lage des Angriffspunktes *x* in der gedachten Scheitelfuge für den neuen Gewölbschub bedingt.

Zur Auffindung dieser Drucklinie und der Lage des Punktes *x* kann man das in Art. 146 (S. 208) Gegebene benutzen. Hiernach erhält man in der durch *C* und *D* geführten Geraden *Cn* die Polaraxe und im Plane *C, l* unter Verwerthung des Seilpolygons *S* in *F*, die wagrechte Projection des Fixpunktes *F*,

welcher für die Polaraxe Cu in Frage kommt. Durch den Punkt F muß also der Strahl des Seilpolygons $o_1 i_1, C$ mit der Resultirenden $R_1 = o_4$ im Gewichtspole gehen. Der durch F zu legende Strahl hat aber vermöge der gleichen Form und Belastung der Gewölbschenkel die wagrechte Lage. Der Schnitt x dieser durch F geführten Wagrechten mit der gedachten Scheitelfuge B giebt den Angriffspunkt des gefuchten neuen Gewölbschubes bo , welcher in seiner Größe auf bekanntem Wege als Strecke bo mittels des parallel zu Ci_1 durch f gezogenen Strahles fb erhalten wird. Die mit dem Gewölbschube bo gezeichnete Drucklinie $xDCq$ verbleibt ganz innerhalb der Stirnfläche AB ; mithin ist der Gewölbschub bo die nunmehr möglichst kleinste Horizontalkraft, welche nöthig und fähig ist, den Gleichgewichtszustand gegen Drehung im Gewölbsystem aufrecht zu erhalten. Da eine Gefahr des Gleitens der Steine auf den Fugen nicht bekundet wird, so ist die Stabilitäts-Untersuchung abgeschlossen.

Für die Stärke des Gewölbes ist zunächst die Größe des Schubes bo zu berücksichtigen. Es ist $bo = 0,47$ m gemessen; da die Basis $os = 2$ m gewählt war, so ist $bo = 0,47 \cdot 2 = 0,94$ m oder, bei der Tiefe des Gewölbes gleich 1 m, mit $0,94$ cbm in Rechnung zu stellen. Für Quadermaterial ist nach Gleichung 142 (S. 185), wenn $H = bo = 0,94$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met. gesetzt wird, die senkrecht zur innern Wöblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 0,94) 0,94} = \infty 0,32 \text{ m.}$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A ist gleich der Gewichtsstrecke $0,5$ mal Basiszahl os , d. h. $= 2,455 \cdot 2 = 4,91$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met.

Nach Gleichung 148 (S. 186) wird

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 4,91) 4,91} = \infty 0,38 \text{ m,}$$

also größer als d . Mithin würde die Gewölbstärke durchweg zu $0,38$ m angenommen werden. Sie war in der Zeichnung zu $0,30$ m gewählt.

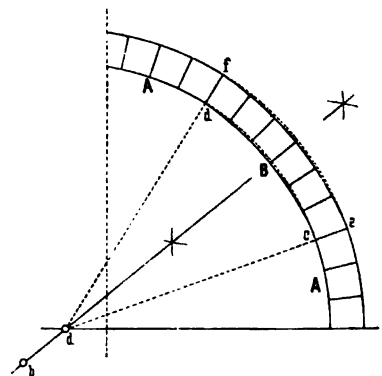
Ein anderer Weg zur Bestimmung der Größe des Gewölbschubes $fo = bo$ und der Lage des Angriffspunktes x für die durch D und C gehende Drucklinie ist der folgende.

Das Stück DBD des Gewölbes besitzt ein Gewicht ci , welches gleich dem zweifachen der Strecke oi ist, während das Gewicht jedes Stückes $DC = P$ gleich der Strecke iq wird. Zerlegt man das Gewicht ci in n nach den Richtungen nD, nD in die beiden gleichen Seitenkräfte cd, di , so wirkt im Punkte D zunächst eine solche Kraft di . Außerdem wirkt in D eine wagrechte Kraft ci , welche als Seitenkraft der durch pC gehenden und hiermit der Lage nach bestimmten Resultirenden eq in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Kräfte-dreieck iqe sofort zu ermitteln ist. Die in D wirkfame, aus di und ci entstehende Mittelkraft fi ist die im Punkte D auftretende Pressung. Die wagrechte Seitenkraft fo dieser Pressung ist der gefuchte Horizontal-schub. Der parallel zu fi gezogene Strahl Do_4 schneidet die Gewichtslinie des Stückes BD im Punkte o_4 . Die durch o_4 gelegte Wagrechte $o_4 k_1$ trifft die angenommene lothrechte Scheitelfuge B im gefuchten Punkte x .

Aus dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes $xDCq$ erkennt man ihre ziemlich steile Stellung zwischen den Bruchfugen C und D . Hiernach könnte zur Erzielung einer statisch günstigen Bogenform unter Umständen eine Umgestaltung des ursprünglichen Spitzbogens in einen Korbbogen derart vorgenommen werden, daß nach den Angaben von *Viollet-le-Duc*¹⁸⁴⁾ der mittlere, überwiegende Theil B (Fig. 530) mit einem größeren Halbmesser bB beschrieben würde, als die oberen und unteren kürzeren Bogenstücke A , deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt in a liegt.

Ist das gefammte Rippen-system eines gothischen Kreuzgewölbes planmäßig feft gelegt, ist die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

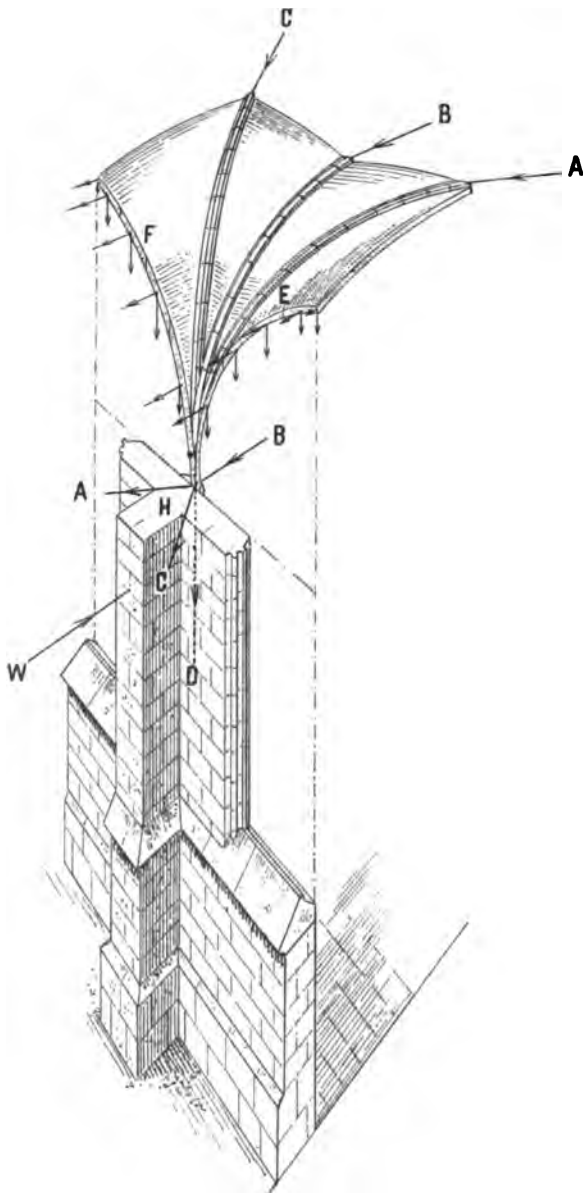
Fig. 530.



¹⁸⁴⁾ Siehe: VIOLETT-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française etc.* Band 4. Paris 1866. S. 29.

zufällige Belastung des Gewölbes bestimmt, so sind zunächst, den in Art. 315 (S. 460) unter α gegebenen Entwicklungen entsprechend, die von den Gewölbekappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Pressungen zu ermitteln. Sodann sind die hieraus resultirenden Kräfte als äußere angreifende Kräfte für den Rippenkörper fest zu stellen, und endlich ist unter Berücksichtigung des Eigengewichtes, einschliesslich einer vielleicht vorhandenen besonderen Belastung der Rippen, die eigentliche statische Untersuchung des Rippenystems auch unter Beobachtung der gewählten Spitzbogenform doch ihrem Wesen nach ganz in der Weise durchzuführen, wie in Art. 253 (S. 375) und 254 (S. 377) bei der Untersuchung der Stabilität der Gratbogen cylindrischer Kreuzgewölbe eingehend angegeben und durch Beispiele erklärt ist.

Fig. 531.



Eben so ist nach der Bestimmung des für den Rippenbogen entstehenden Horizontal Schubes, bzw. Normaldruckes, unter Anwendung der Gleichungen 142 u. 148 (S. 185 u. 186), bzw. der Gleichungen 145 u. 150 (S. 186 u. 187) die Stärke der Rippen bei Anwendung von Quadermaterial oder von Backsteinen zu berechnen.

329
Stärke
der
Rippen.

Unter besonderen baulichen Verhältnissen kann aber für die Standfähigkeit der Gewölberippen oder auch des gefamten Gewölbsystems ein starker Winddruck, welcher auf die Flächen der seitlichen Begrenzungen der Gewölbeanlage gelangt, von nachtheiliger Wirkung sein. Bestimmt man nach Anleitung von Fig. 531 für die Kappengebiete *E* und *F* mit ihrer Gurtrippe *B* und ihren Diagonalrippen *A* und *C* die für eine zugehörige seitliche Begrenzungsfläche in Betracht kommenden Gewölbschübe, so lässt sich für diese den Widerlagskörper *H* des Gewölbes angreifenden Kräfte an sich ein standfähiges Widerlager schaffen. Wirkt nun aber auf diesen Widerlagskörper von aussen der Winddruck ein, dessen resultirende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete Pressung *W* die aus den Gewölbs-

330.
Winddruck.

schüben entstehende Mittelkraft an Gröſſe übertrifft, ſo wird dieſer Ueberſchuſſ des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenſchaft ziehen und, durch daſſelbe flieſſend, ſowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulenſyſtem, wie auch ſchlieſſlich die andere ſeitliche Außenmauer des Gewölbgebietes beſonders beanſpruchen. Während dieſes Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berücksichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewiſſenhafte Beſtimmung erſt Aufſchluſſ über die nothwendige Stärke dieſer Gewölbtheile zu geben vermag. Mit dieſen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen ſtehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbeanlage in innigem Zuſammenhange. Eine durchweg ſcharfe und genaue Ermittlung dieſer ſämmtlichen Veränderungen iſt aber mit ſo groſſen Schwierigkeiten verknüpft, daſſ man nur durch Näherung einigen Aufſchluſſ über die erwähnten Einflüſſe des Winddruckes auf das Wölbfyſtem gewinnen wird. Selbſt die Annahme über die Gröſſe des in Rechnung zu ſtellenden Winddruckes iſt noch Schwankungen unterworfen. Der in Deutſchland noch mannigfach angenommene gröſſte Werth von 120 kg Druck auf 1 qm einer vom Winde ſenkrecht getroffenen Fläche iſt neueren Erfahrungen nach bei herrſchenden Stürmen erheblich überſchritten. Immerhin darf der Einfluſſ des Windes bei Gewölbeanlagen zwiſchen hohen Begrenzungsmauern nicht außer Acht geſaſſen werden. Deſhalb iſt dahin zu ſehen, daſſ die dem Gewölbfchube und dem Winddrucke ausgeſetzten Begrenzungsmauern der Gewölbeanlage zur Erreichung entſprechender Sicherheit an und für ſich mit ihren etwa vorhandenen Strebepfeilern, bezw. Strebebogen zunächſt vollſtändige Standfähigkeit gegen den antretenden geſamten Gewölbfchub beſitzen, ſodann aber auch eine ſolche Stärke erhalten, daſſ ſie fähig ſind, dem Winddruck allein Widerſtand zu leiſten, ohne daſſ ein nachtheiliger, die Gröſſe des Gewölbfchubes übertreffender Winddruck durch das Gewölbe ſelbſt auf die übrigen Gewölbfstützen oder Widerlager übertragen wird.

Treten Fälle ein, wobei für die Begrenzungsmauern oder für dieſe und die Stützen des Gewölbes nur eine Stärke zugelaffen werden kann, welche nicht verhindert, daſſ der Ueberſchuſſ des Winddruckes die Gewölbf-Conſtruction gleichſam für ſich als Laufbahn in Anſpruch nimmt, ſo muſſ die Stabilitäts-Unteſuchung der ganzen Anlage durch das Auffuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittlung der ſämmtlichen ſich geltend machenden äußeren Kräfte für die Gewölberippen, Gewölbekappen und für die Widerlagkörper den erforderlichen Aufſchluſſ über den Gleichgewichtszuſtand des ganzen Syſtemes zu geben vermögen.

Die hierzu erforderliche, ſehr umfangreiche und in mehr oder weniger hohem Grade doch mit Mängeln behaftete Arbeit kann weſentlich vereinfacht und für die Praxis genügend in abgekürzter Weiſe ausgeführt werden, ſobald man den etwa vorhandenen Ueberſchuſſ der Gröſſe des Winddruckes nur als allein wirksam für den Gurtbogen *B* (Fig. 531) zwiſchen der Kappengruppe von *E* bis *F* betrachtet. Nach dieſer Annahme läſſt ſich das Auffinden der Mittellinie des Druckes in der Gurtrippe *B*, den vorhandenen Gewölbpfeilern, den Widerlagern mit oder ohne Strebepfeilern, bezw. Strebebogen ganz im Sinne des in Art. 147 (S. 213) Vorgetragenen bewirken und hiernach die Stabilität des Baukörpers beurtheilen.

Stellt ſich bei dieſen Unteſuchungen ein nicht gerade ſehr günſtiger Verlauf der Mittellinien des Druckes, namentlich für die Gewölbpfeiler oder die ſeitlichen Widerlager, heraus, ſo kann man ſehr häufig durch das ſchon mehrfach erwähnte

Mittel einer geeigneten Uebermauerung des Gurtbogens *B*, unter Beachtung des in Art. 143 (S. 197) Gefagten, einen fachgemäßen Verlauf der in Frage kommenden Drucklinien herbeiführen und danach besondere Vortheile für eine geficherte Standfähigkeit der einzelnen Bautheile erzielen.

Die äußerst mannigfaltig in größter Anzahl ausgeführten gothischen Kreuzgewölbe zeigen hinsichtlich der Abmessungen der Rippenquerschnitte so große Verschiedenheiten, daß das Aufstellen empirischer Regeln für die Bestimmung der Stärke der Gewölberippen zwecklos erscheinen muß. Schon die aus architektonischen Bedingungen hervorgehende Profilierung der Rippen veranlaßt häufig einen weit größeren Rippenquerschnitt, als die Pressungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günstigen Verlaufe der Drucklinien im Rippenkörper entstehen.

Nimmt man zunächst eine gewissenhaft durchgeführte statische Untersuchung der Gewölberippen vor und bestimmt man hiernach, wie in Art. 139 (S. 193) angegeben wurde, die Stärke der Rippen, so läßt sich schließlich, bei Vermeidung einer Herabminderung des berechneten Rippenquerschnittes, die geplante Profilierung desselben vornehmen.

Oft ergibt eine solche Untersuchung allerdings auch so geringe Querschnittsgrößen, daß die praktische Ausführbarkeit der Rippen größere Abmessungen erforderlich macht. Immerhin sollte diese statische Untersuchung nicht ohne Weiteres von der Hand gewiesen werden.

Rippen aus Quadern erhalten bei Gewölben mit rund 10 m Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis 25 cm und, einschließend des Rückenansatzes, eine Höhe von 25, 30 bis 36 cm. Rippen aus Backsteinen oder besonderen, kleineren oder größeren Formsteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis 1½ Stein breit und mit dem Rückenansatze 1½ bis 2 Stein hoch genommen werden.

Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerschnitte mit 9 cm Breite und 15 cm Höhe ohne Rückenansatz. Diese Abmessungen dürften selten noch eine weitere Verminderung erfahren.

γ) Stabilität der Widerlager.

Werden die Umfangsmauern, die hauptsächlichsten Widerlagskörper der Anlage eines gothischen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 298 (S. 431) Gefagten in einzelnen Stützpunkten, mögen dieselben durch Strebepfeiler an sich schon verstärkt sein oder nicht, durch die Kräfte beansprucht, welche mit Hilfe der im Vorhergegangenen besprochenen statischen Untersuchung der Gewölbekappen und ihres Rippen-systemes ihrer Lage, Größe und Richtung nach bekannt werden, so läßt sich unter Verwendung dieser Kräfte die Prüfung der Stabilität der Widerlager einleiten. Sieht man zunächst von einer besonderen Versteifung derselben durch Strebebogen ab, so erfolgt die Fortführung der Stabilitäts-Untersuchung und die damit im Zusammenhange stehende Bestimmung der Stärke der Widerlager unter Anwendung der graphischen Statik auf demselben grundlegenden Wege, welcher in Art. 236 (S. 378) zu gleichem Zwecke beim cylindrischen Kreuzgewölbe gekennzeichnet ist. Beim Feststellen der Grundrißfläche des Widerlagskörpers wird die Grundrißlänge *l* (Fig. 532) unter richtiger Würdigung der geschaffenen Planlage möglichst gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunsten des Sicherheitsgrades des Stütz-körpers angebaute Verringerung seines Gewichtes in Rechnung zu stellen. Die

331.
Empirische
Regeln.

332.
Widerlager
ohne
Strebebogen.

Gewichtsbestimmung, so wie die Darstellung der Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper erfolgt in bekannter Weise. Für den Verlauf der Drucklinie ist zu beachten, daß zur Erzielung einer entsprechenden Sicherheit die Querschnittsfläche des Widerlagskörpers diese Linie an jeder Stelle innerhalb des fog. Kernes¹⁸⁵⁾ des Querschnittes birgt und daß außerdem eine Gefahr in Rücksicht auf Gleiten ausgeschlossen bleibt.

333.
Empirische
Regel.

Eine hier und dort angegebene empirische Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwischen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{7}$ der Spannweite der Gewölbe wechselt, erscheint, ohne eine Rücksichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerthe angegebenen, weit von einander abstehenden Grenzen, nicht besonders beachtenswerth. Eine leicht zu bewirkende Stabilitäts-Unterfuchung der Widerlager befreit von den Mafsnahmen der an sich oft unsicheren empirischen Regeln.

334.
Widerlager
mit
Strebebogen.

Auf etwas anderem, nunmehr zu berücksichtigendem Wege ist die Stabilitäts-Prüfung der Widerlager vorzunehmen, wenn die in Art. 299 (S. 432) erwähnten Strebe- oder Schwibbogen in Gemeinschaft mit Strebepfeilern als besondere Stütz-Constructions des eigentlichen Gewölbewiderlagers auftreten sollen.

Das innere Wesen dieser Stabilitäts-Unterfuchung stimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinschaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verschiedener Spannweite und ungleich großer Belastung, welcher in Art. 147 (S. 213) bereits näher behandelt ist, überein. Der meistens in der Form eines einhüftigen Gewölbes erscheinende Strebebogen ändert die Richtung des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitäts-Unterfuchung von einhüftigen Gewölben, welche demnach auch hier wieder Berücksichtigung finden muß, ist in Art. 146 (S. 208) erklärt.

Der Gang, welcher bei der statischen Unterfuchung der Widerlager mit Strebebogen befolgt werden kann, soll unter Benutzung der Darstellungen auf neben stehender Tafel besprochen werden.

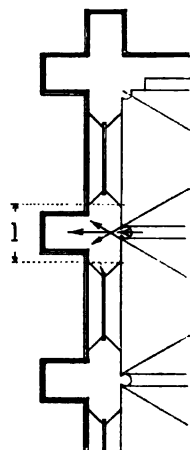
Der in der lothrechten, als Kräfteebene fest gesetzten Symmetrie-Ebene des Widerlagers G und des Strebebogens 70 wirkende resultirende Gewölbschub S der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 328 (S. 478) Gefagten vorweg zu bestimmen ist, vereinigt sich mit dem Gewichte G des in seiner Grundriffsfläche und Höhenentwicklung im Gewölbeplane bestimmten Widerlagskörpers zu einer Mittelkraft M . Gröfse, Lage und Richtung der letzteren bleiben unveränderlich, so fern der Gewölbschub S und das Gewicht G keiner Aenderung unterzogen werden. Hiernach ist also der Strahl Mm , worin die Mittelkraft M wirkt, eine feste Gerade. Schneidet, wie hier der Fall ist, dieser Strahl die als fest und vollständig tragfähig vorausgesetzte Fufsebene mf der Widerlagsmauer außerhalb ihrer Grundfläche im Punkte m , so wird die Kraft M den Widerlagskörper um die Kante c drehen.

Wird zur Sicherung des Widerlagers gegen Drehung ein Strebebogen 70 mit zugehörigem Strebepfeiler angeordnet, so können die Einflüsse, welche dieser Strebebogen auf das Widerlager ausübt, und umgekehrt, die Einwirkungen, welchen der Strebebogen durch den Gewölbschub S , bezw. durch die Mittelkraft M unterworfen ist, in geeigneter Weise durch Zeichnung zur Erscheinung gebracht werden.

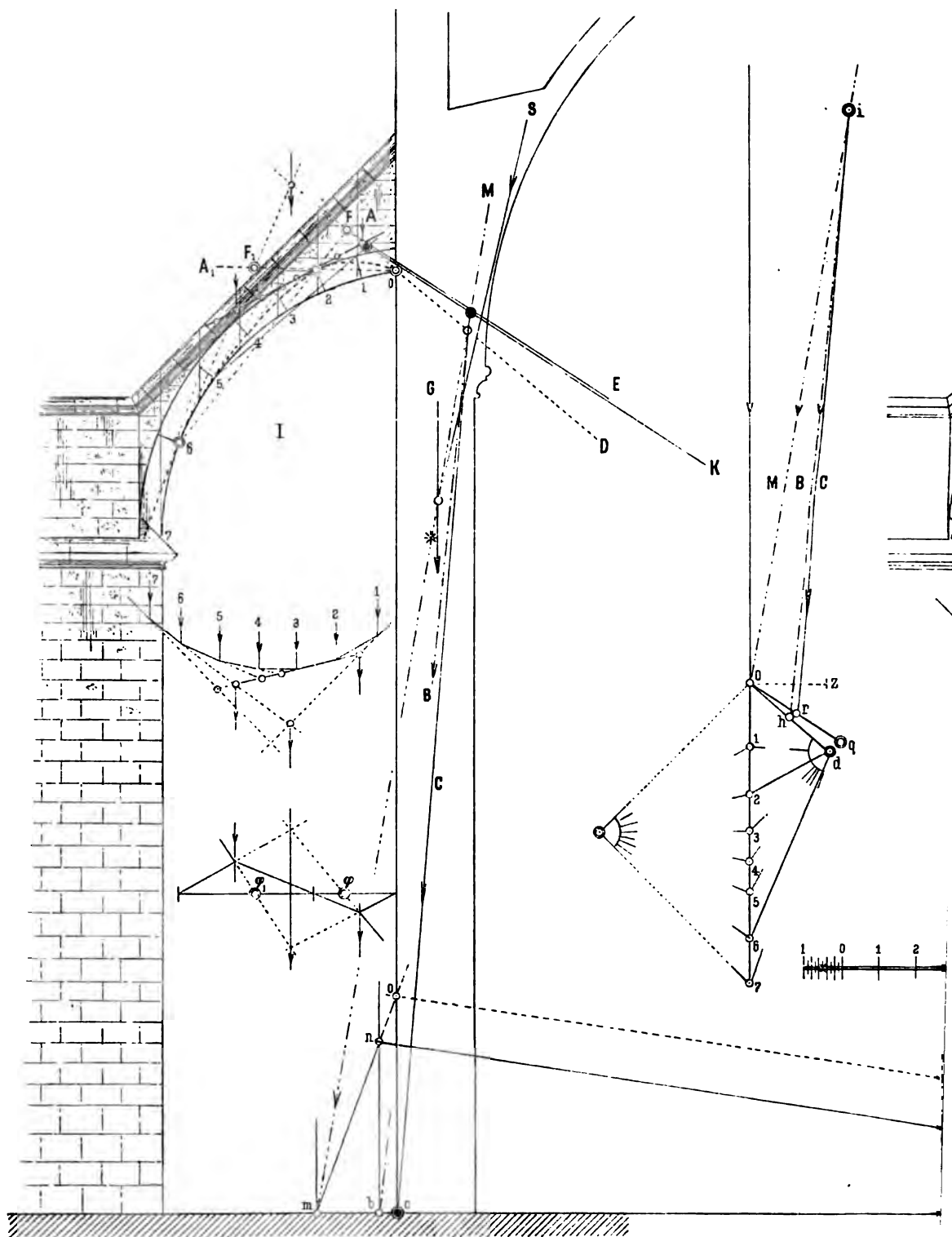
Zunächst ist die statische Unterfuchung des Strebebogens selbst vorzunehmen. Die Tiefe desselben sei gleich $1m$.

Unter Einführung einer beliebig gewählten Basis $os = 2m$ ist, entsprechend den Angaben in Art. 146 (S. 208), ein Gewichtsplan $o7$ gezeichnet und unter Anwendung der Polaraxen oA und oA_1 mit Hilfe der Fixpunkte F , bezw. F_1 die punktirt dargestellte Drucklinie ermittelt, welche einem möglich kleinsten Gewölbschube $D = do$ zukommt. Dieselbe verbleibt ganz in der eigentlichen Gewölbsfläche des Strebebogens.

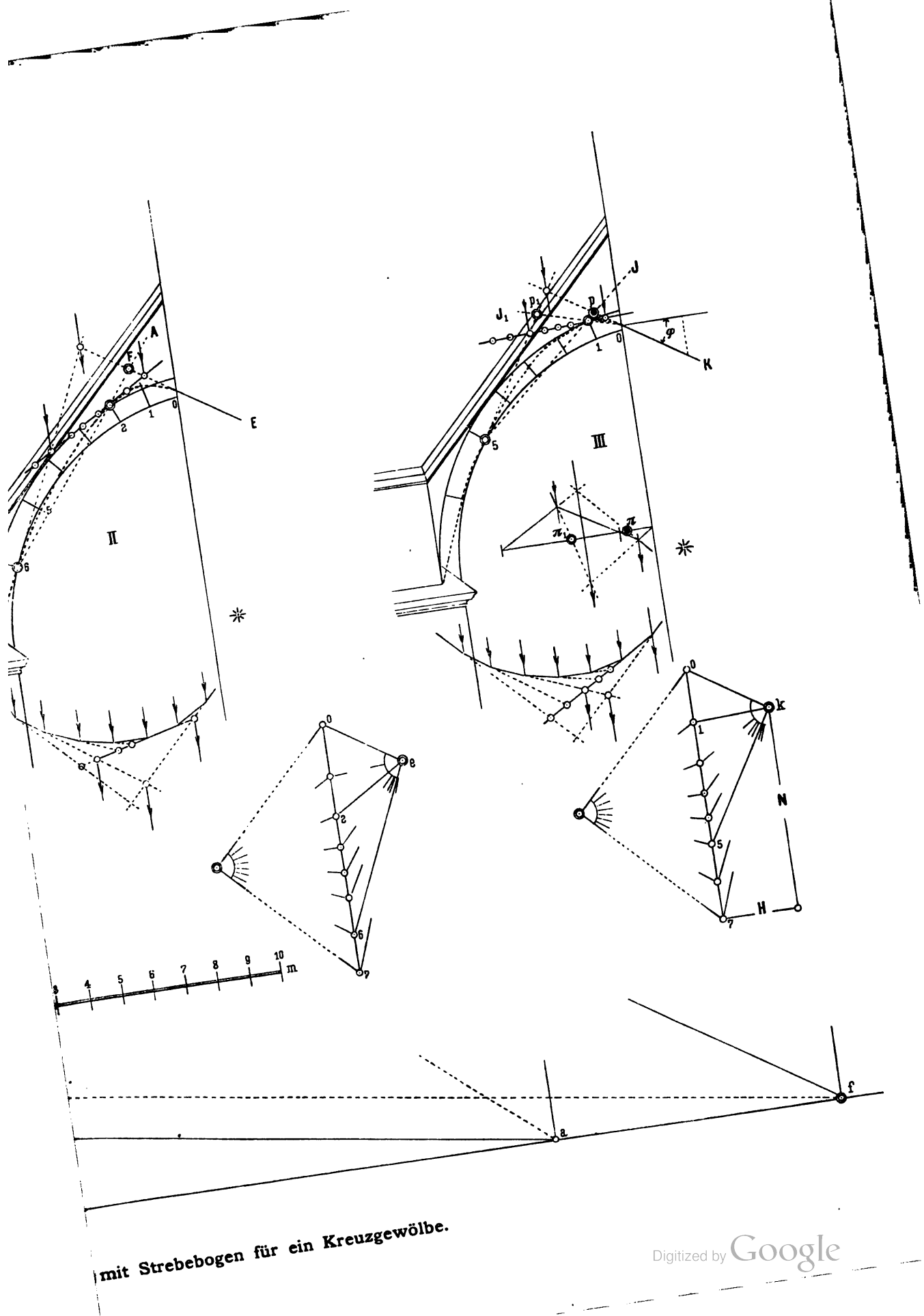
Fig. 532.



¹⁸⁵⁾ Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88) dieses »Handbuches«.



Statische Untersuchung des Widerlagers



mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.

Besitzt der Strebebogen eine grössere oder geringere Tiefe, als 1 m, so ist der Gewichtsplan $o7$ offenbar nach der Vorschrift in Art. 249 (S. 363) zu zeichnen. Die übrigen Bestimmungen erleiden dadurch im Wesen keine Aenderungen.

Der Gewölbschub D wirkt in der Richtung oD auf das Widerlager ein. Er vereinigt sich mit M zu einer neuen Mittelkraft B . Um diese Kraft im vollsten Einklange mit der gewählten Basiszahl $os = 2m$ und mit dem Einheitsgewichte des Wölbmaterials des Strebebogens im Kräfteplane als Linie von richtiger Länge darstellen zu können, ist vor allen Dingen die Kraft M , welche aus der statischen Untersuchung des Hauptgewölbes und seines zugehörigen Widerlagentückes hervorgegangen ist, im Kräfteplane in genauer Streckenlänge einzutragen. Ist z. B. die Bestimmung von M unter Benutzung einer anderen Basiszahl und unter Berücksichtigung eines vom Einheitsgewichte des Materials des Strebebogens abweichenden Einheitsgewichtes des Materials des Hauptgewölbes oder auch des Widerlagerskörpers, wie häufig der Fall ist, erfolgt, so muß die Länge der Strecke M eben so, wie in Art. 256 (S. 378) z. B. für das Festlegen des Druckes in einem Gratbogen geschehen ist, berechnet werden.

Eine Vorunterfuchung und die zugehörige Berechnung haben für M eine Strecke von 30,4 m ergeben. Zieht man im Gewichts-, bezw. Kräfteplane durch o den Strahl io parallel zu Mm und nimmt man die Länge dieses Strahles von o aus gleich der für M berechneten Strecke, so ist die nothwendige Vereinigung von gleichartigen, auf eine und dieselbe Reductionsbasis os und auf dasselbe Baumaterial zurückgeführten Kräftelinien erreicht. In der Zeichnung ist zur Vermeidung der weit hinauf gehenden Linienstrecke von 30,4 m ein bestimmter Theil, hier nur die Hälfte 15,2 m für io aufgetragen, und eben so ist auch dem gemäß die Strecke od des Schubes D in h halbiert, wodurch offenbar die Bestimmung der Lage der Mittelkraft B aus M und D nicht beeinflusst wird. Die Grösse von B ist hierbei gleich dem Zweifachen von ih .

Führt man im Plane I durch den Schnitt des Strahles D mit der fest liegenden Geraden M die Parallele Bb zu ih des Kräfteplanes, so trifft dieselbe die feste Fulsebene mf ebenfalls noch in einem ausserhalb der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkte b . Hierdurch zeigt sich, daß der einer Minimal-Drucklinie des Strebebogens $7o$ zukommende Gewölbschub D vom Gewölbschube S des Hauptgewölbes, bezw. von der Kraft M noch weit überwunden wird. Der Schub D ist noch nicht im Stande, den Gleichgewichtszustand des gemeinschaftlichen Widerlagers gegen Drehung hervorzubringen.

Sieht man vorläufig von einem Höherlegen des sonst unverändert zu lassenden Strebebogens an der Widerlagsmauer ab, so folgt weiter, daß durch die Einwirkung von S , bezw. M im Strebebogen ein grösserer Gewölbschub herrschen muß, wenn derselbe fähig sein soll, das Drehbestreben des Widerlagers zu vernichten.

Zum Auffuchen dieses grösseren Schubes im Strebebogen, und zwar zunächst in Rücksicht auf eine Grenzlage, wonach die aus M und diesem Schube entstehende Mittelkraft genau durch die äusserste Kante c der Grundfläche des Widerlagers geht, ist in Uebereinstimmung mit den Erörterungen in Art. 147 (S. 213) durch die Seilpolygone mna und mof der auch in dem dort Vorgetragenen erwähnte, bedeutungsvolle feste Punkt f auf der Fulsebene des Widerlagers ermittelt. Zieht man nun durch f und durch den Fixpunkt F der unverändert gelassenen Polaraxe A des Strebebogens einen Strahl E , so muß in demselben ein Gewölbschub herrschen, welcher, wenn mit ihm eine Drucklinie im Strebebogen entsteht, die ganz innerhalb der Gewölbfäche desselben bleibt, in Gemeinschaft mit M eine durch die Kante c gehende Resultirende liefert.

Im Plane II ist Aufschluss über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche einem in der Richtung fF wirkenden Schube E von der Grösse eo angehört, gegeben. Die Polaraxe A mit dem Fixpunkte F ist ohne Weiteres aus dem Plane I übertragen. Die auf bekanntem Wege gezeichnete Mittellinie des Druckes verläßt jedoch die Stirnfläche des Strebebogens oberhalb der Rückenlinie zwischen den Fugen 1 und 2 und unterhalb der Wöblinie in der Nähe der Fuge 5 in merkbarem Abstände. Hieraus folgt, daß der Gewölbschub $E = eo$ in der angewiesenen Lage und mit der gefundenen Grösse nicht fähig ist, eine Drucklinie zu erzeugen, welche ganz innerhalb der Wöblfläche des Strebebogens verläuft. Die eingezeichnete Drucklinie giebt aber einen Anhalt für die Lage der Bruchfugen oberhalb des Stückes oz und in der unteren Kante der Fuge 5 . Berücksichtigt man ferner, daß unter Beachtung dieser Bruchfugen dennoch im Allgemeinen ein noch möglich kleinster Gewölbschub des Strebebogens eintreten kann, welcher, mit der Kraft M zusammengesetzt, eine Resultirende giebt, welche durch die Kante c der Grundfläche des Widerlagers geht, so hat man nach dem Plane III eine neue Mittellinie des Druckes aufzufuchen, welche durch den höchsten Punkt der als Bruchfuge angenommenen Fuge 1 , durch den tiefsten Punkt der zweiten Bruchfuge 5 zieht, und welche ausserdem einem Gewölbschube zukommt, dessen Richtung durch den festen Punkt f der Fulsebene mf geht.

Bestimmt man auf der durch \mathcal{J} und durch den höchsten Punkt der Fuge \mathcal{I} gelegten Polaraxe \mathcal{J} nach Art. 146 (S. 208) den Fixpunkt p mittels der Projection π ; zieht man im Plane I , nachdem auch hier die Lage des Punktes p nach Plan III eingetragen und stark ausgeprägt wurde, durch diesen Punkt und durch f der Fulsebene mf den Strahl K : so ist alles Nothwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane III zeichnen zu können. Für dieselbe ergibt sich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher bestimmten zweiten Polaraxe \mathcal{J}_1 , welche durch den Angriffspunkt der Kraft K auf der Fuge o und durch den höchsten Punkt der Bruchfuge \mathcal{I} gezogen werden muß, nebst ihrem Fixpunkte p_1 , dessen Projection in π_1 ermittelt wurde, eine reichliche Zahl von Elementen, welche für die richtige Darstellung dieser Drucklinie benutzt werden können. Dieselbe bleibt noch ganz innerhalb der Wölblfläche des Strebebogens. Die Größe ihres Gewölbschubes K wird im Gewichtsplane der Darstellung III als Strecke ko erhalten. Ueberträgt man ko in Lage und Größe nach dem Gewichtsplane der Hauptdarstellung I als qo , halbirte man, weil io die Hälfte der Kraft M angiebt, auch qo in r und zieht man den Strahl ir , so muß die durch den Schnitt von K mit M zu ir gezogene Parallele C genau durch den Punkt c der Kante der Widerlagsfläche gehen. Hierdurch wird bekundet, daß der Strebebogen, sobald in ihm eine Mittellinie des Druckes verbleibt, deren Gewölbschub die Lage K annimmt und dessen Größe gleich $ko = qo$ ist, fähig wird, den Grenzzustand des Gleichgewichtes gegen Drehung um die Kante c der Grundfläche des Widerlagers herbeizuführen.

Soll der Punkt c mehr in das Innere dieser Grundfläche, z. B. bis in den nach c zu gelegenen Kernpunkt des Querschnittes des Widerlagskörpers, gelegt und alsdann eine Prüfung dahin gehend angestellt werden, ob eine Mittellinie des Druckes mit noch größerem Gewölbschub für den Strebebogen möglich ist, wobei die aus M und dem neuen Gewölbschube entstehende Mittelkraft sich durch diesen Kernpunkt legt; so ist die Durchführung dieser Untersuchung, unter Ermittlung eines neuen festen Punktes, statt des für die Lothrechte co bestimmten Punktes f in der Ebene mf , ganz in dem Sinne des Vorgetragenen zu bewirken.

Ist in jedem einzelnen Falle die dem Gleichgewichte gegen Drehung entsprechende Mittellinie des Druckes gezeichnet, so ist bekanntlich auch noch zu prüfen, ob dieselbe den allgemeinen Bedingungen für das Gleichgewicht gegen Gleiten entspricht.

Namentlich kommt hierbei der Neigungswinkel φ der Kraft K mit der Normalen zur Ansatzfuge o des Strebebogens am Widerlager in Betracht. Da dieser Winkel die Größe des Reibungswinkels des anzuwendenden Materials nicht überschreiten darf, so muß, wenn die an sich unveränderliche Lage des Gewölbschubes K eine Ueberschreitung der Größe dieses Reibungswinkels bekunden sollte, die Ansatzfuge o in ihrer Neigung in dem Maße abgeändert werden, daß eine Gefahr durch Gleiten nicht mehr vorhanden ist. Für die übrigen Fugen tritt unter Umständen gleichfalls die Prüfung auf Gleiten und eine Aenderung der Fugenrichtung zwischen den Wölbfteinen ein.

Die Stärke des Strebebogens ist nach der Bestimmung des Schubes K mittels des leicht nach Plan III zu findenden wagrechten Gewölbschubes H , bzw. des Normaldruckes N für die am stärksten gepresste Fuge auf bekanntem Wege zu berechnen.

Eben so macht die Stabilitäts-Untersuchung des Strebepfeilers, welcher die Stütze des Strebebogens bildet, bei dem Bekanntsein des Schubes K keine Schwierigkeiten.

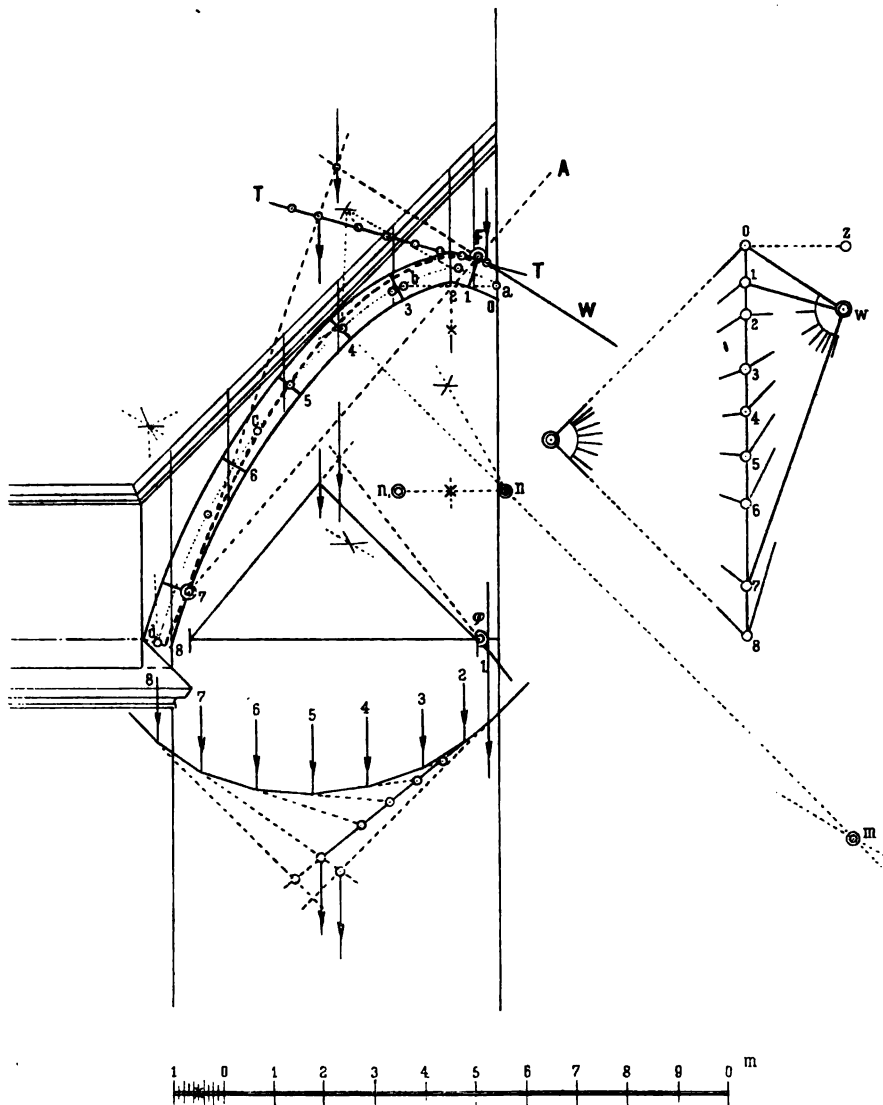
Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigkeit des gemeinschaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanspruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Ansatzhöhe des Strebebogens geltend gelassen. Man erkennt aber aus der Darstellung I auf der Tafel bei S. 482, daß bei einem lothrechten Verschieben des Strebebogens $o7$ an der äußeren lothrechten Seite der Widerlagsmauer, ohne eine Umgestaltung des Strebebogens zu vollziehen, unter Umständen auch der Gewölbschub D , welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbschüben des Strebebogens am kleinsten ist, fähig sein kann, bei seiner Zusammensetzung mit der Kraft M eine Resultirende zu liefern, welche durch den Punkt c oder, wenn man will, auch durch einen mehr im Inneren der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkt geht. Denn würde man z. B. durch den Punkt c einen Strahl parallel zu Bb , bzw. ih ziehen, so müßte, im Allgemeinen genommen, dieser Strahl die feste Linie Mm in einem Punkte schneiden. Legte man durch diesen Schnitt auf der Geraden Mm die Parallele zu der Richtung des

335-
Ansatzhöhe
der
Strebebogen.

Schubes D , so würde dieselbe die neue Lage des Ansatzpunktes o des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in seiner Gesamtheit höher gerückt werden. Bleibt nun bei dieser Verschiebung eine durch die Kräfte S , G und D verursachte Drucklinie ganz in der Fläche des Widerlagskörpers, bzw. innerhalb des Gebietes der Grenzlinien der Kernflächen seines Querschnittes, so ist auch hierdurch die Standfähigkeit des Systems bekundet. Bei vielen Bauwerken der deutschen und französischen Gothik findet man sehr hoch an der Widerlagsmauer angeetzte Strebebogen.

Werden zwei über einander liegende Strebebogen zur Absteifung eines gemeinschaftlichen Widerlagers angeordnet, so läßt sich die zugehörige Stabilitäts-Untersuchung eines solchen Baufsystems unter Anwendung der gegebenen Grundlagen schrittweise, ohne besondere Hindernisse anzutreffen, ebenfalls vollziehen.

Fig. 533.



336.
Umgestaltung
der
Strebebogen.

Die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Gewölbschub *K* construirte Mittellinie des Druckes nähert sich einer Parabel, bzw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchsten Punkte der Bruchfuge *r* aus die beiden seitlichen Aeste etwas spitzbogenartig abfallen.

Nimmt man nach Fig. 533 diese Mittellinie des Druckes als Mittellinie *abcd* der Wölfläche eines Strebebogens an und sucht man, wie leicht geschehen und aus der Zeichnung näher ersehen werden kann, die Mittelpunkte *m* für den Bogen von *d* durch *c* bis zur Fuge *q* und *n*, bzw. *n*, für die durch *b* und *a* gehenden Bogen, so läßt sich mit großer Genauigkeit der Linienzug *abcd* durch einen am Scheitel spitzbogenförmig zusammentretenden Korbbogen ersetzen. Behält man die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Strebebogen angenommene Stärke auch in Fig. 533 in der Weise bei, daß dieselbe je zur Hälfte stets normal zum Korbbogen *abcd* nach oben und unten abgetragen wird, so sind die aus den bezeichneten Mittelpunkten beschriebenen, die Wölbfstärke begrenzenden inneren und oberen Wölblinien der Mittellinie *abcd* des Strebebogens concentrisch.

Läßt man auch die obere Aufmauerung und Abdeckung nicht wesentlich ändern, so entsteht, abgesehen von einer kleinen Vergrößerung der ursprünglichen Spannweite, ein spitzbogenförmiger Strebebogen mit den Schenkeln *o2* und *28*, dessen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ist. Derartige Bogen besitzen, wie schon in Art. 127 (S. 153) ausgesprochen ist, einen hohen Grad von Stabilität. Will man für diesen umgeformten Strebebogen eine Mittellinie des Druckes zeichnen, welche einem möglich kleinsten Gewölbschube $W = wo$ angehört, so sind unter Befolgung der Angaben in Art. 146 (S. 208) die erforderlichen, auch aus Fig. 533 zu ersehenden Maßnahmen zu treffen. Die entstehende Drucklinie ist stark punktiert eingetragen.

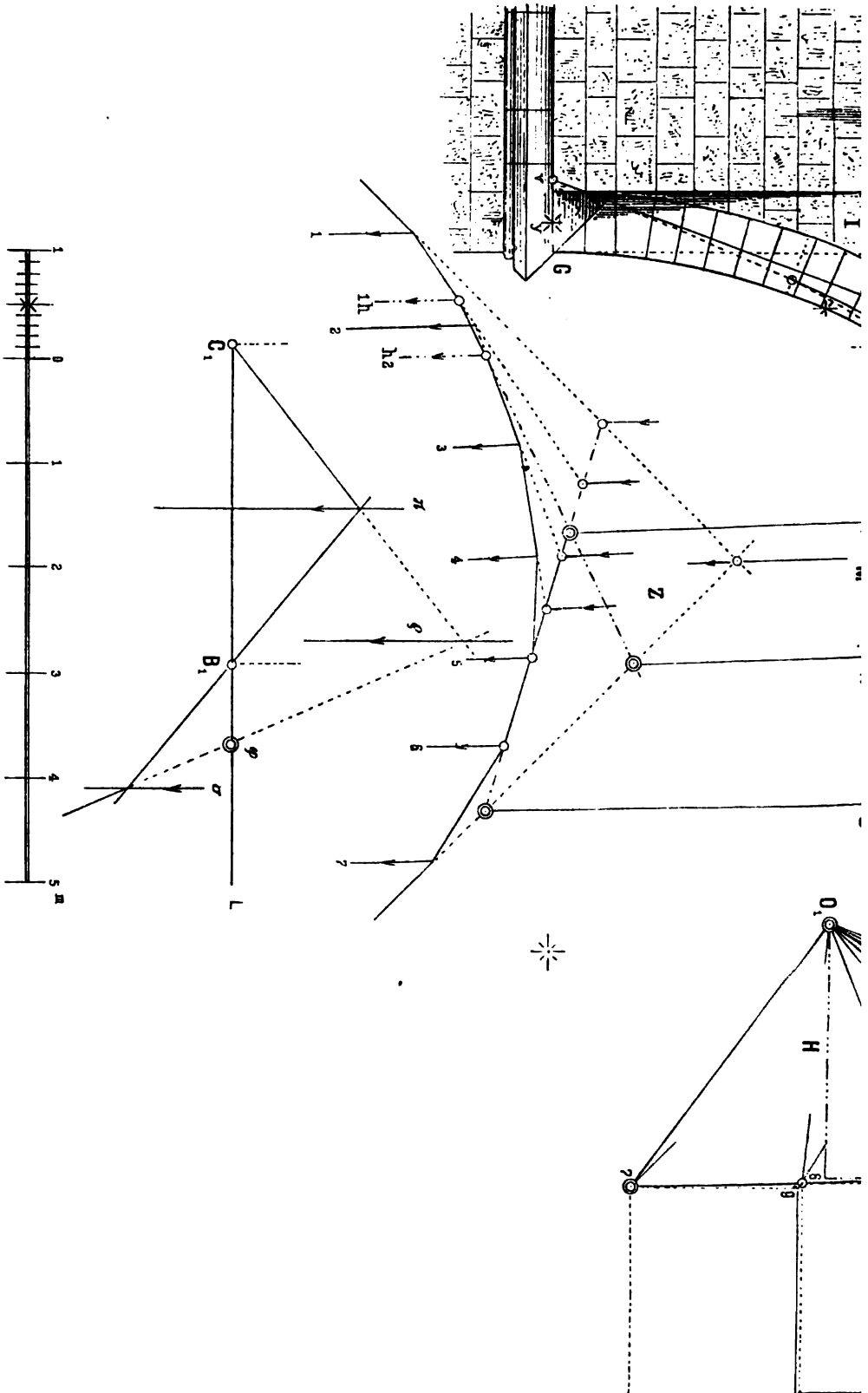
Bemerkt sei, daß Strebebogen mit einem größeren und einem verhältnißmäßig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen sehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

337.
Winddruck
bei
Strebebogen.

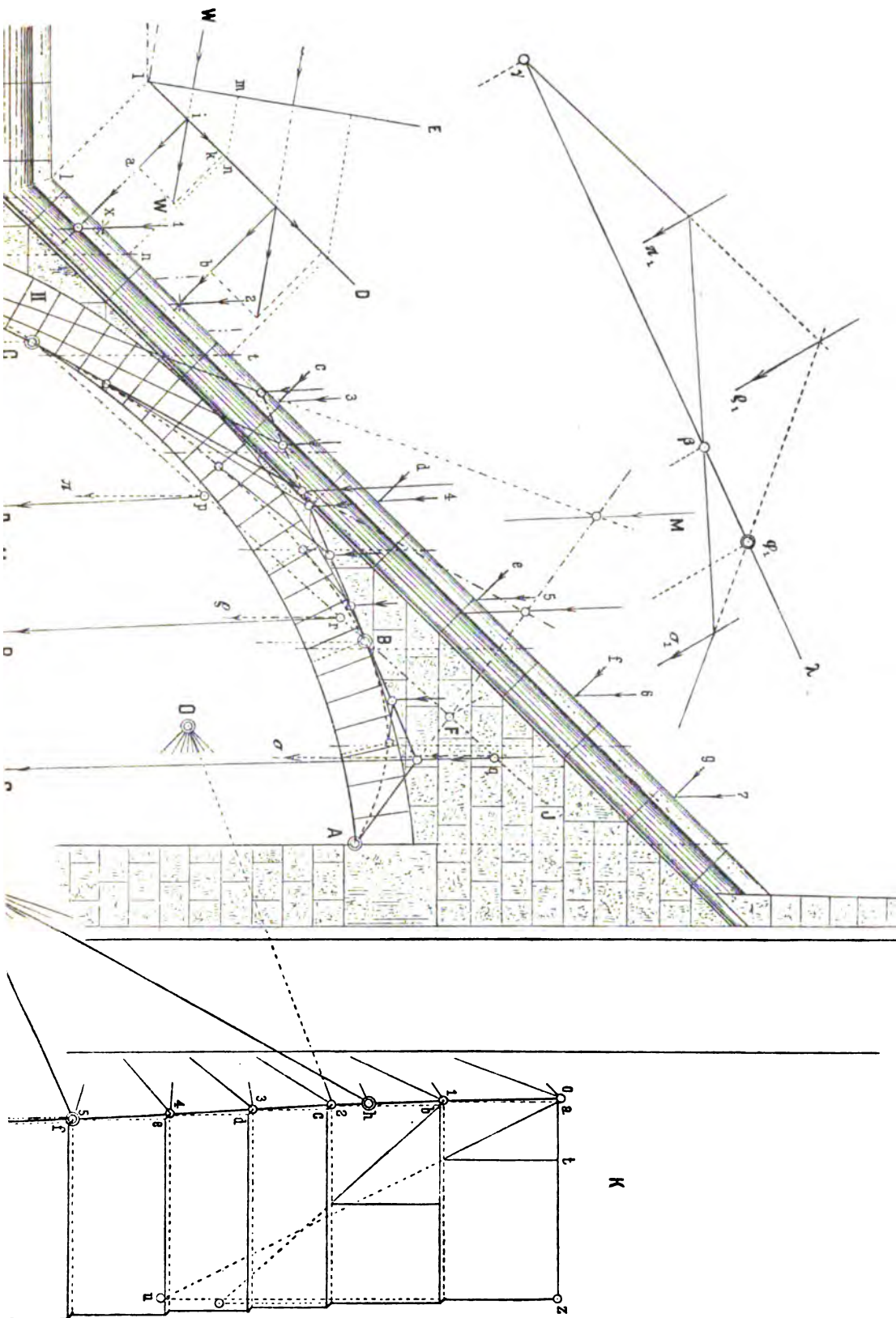
In Art. 146 (S. 208) ist schon die Bemerkung gemacht, daß bei den meistens als einhüftige Gewölbfstücke ausgeführten Strebebogen der Kreuzgewölbe noch der Winddruck, welcher die Rückenfläche dieser Bogen trifft, bei ihrer Stabilitäts-Untersuchung in Frage kommen kann.

Die Lösung der Aufgabe, die Prüfung der Stabilität eines Strebebogens mit Hilfe der graphischen Statik vorzunehmen, sobald außer seinem Eigengewichte noch die Einwirkung eines größeren Winddruckes in Bezug auf seine Rückenfläche zu berücksichtigen ist, soll nach neben stehender Tafel in ihren Hauptpunkten gezeigt werden.

Zunächst ist das Gewölbe des übermauerten und mit Platten abgedeckten Strebebogens *GA*, dessen Tiefe gleich 1 m sein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Gesichtspunkten in schmale Theilstreifen, hier 7, zerlegt. Die einzelnen lothrechten Theillinien bestimmen auf der Rückenfläche der Abdeckung des Bogens die Größe der für jeden Theilstreifen in Rechnung zu stellenden, vom Winddruck beanspruchten Fläche. Für den Streifen *I* würde eine Länge *lm*, für den daneben liegenden Streifen *II* eine Länge *nt* u. f. f. dieser Fläche entstehen. Projicirt man diese Längen, wie bei *D* und *E* geschehen, auf eine zur Windrichtung *W* senkrecht stehende Ebene *E*, so erhält man bei der gegebenen Breite der gedrückten Fläche ihre für die Berechnung des Winddruckes *W* in Bezug auf die Ebene *E* zu benutzende Höhe *lm* u. f. f. Ist allgemein *b* Met. die Breite, *h* Met. die Höhe dieser Fläche und *p* Kilogr. der in der Ebene *E* herrschende Winddruck für eine Flächeneinheit, so ist $W = b h p$ Kilogr. In der Zeichnung ist $lm = h = 0,9$ m. Die Breite *b* der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach 1 m. In Rücksicht auf die Gewalt, welche bei starken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu



Statische Untersuchung eines Strebegewölbes unter Berücksichtigung des Winddruckes.



die Strebebogen meistens zu zählen sind, ausgeübt wird, möge $p = 300 \text{ kg}$ für 1 m gerechnet werden. Hiernach wird $W = 1 \cdot 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ kg}$. Für den Strebebogen kommt die senkrecht zu seiner Rücken-ebene D wirkende Seitenkraft ia in Frage¹⁸⁹). Diefelbe ergibt sich zu 216 kg .

In gleicher Weise sind die lothrechten Drücke b, c, d u. f. f. des Windes für die übrigen Theilstreifen bestimmt. Diese Drücke setzen sich mit den Gewichten ihrer zugehörigen Theilstreifen zu einzelnen Mittelkräften zusammen. Im Kräfteplane K sind dieselben unter Anwendung einer Basis $as = 2 \text{ m}$ als $o1, 12$ u. f. f. bis 7 zu einem Kräftepolygonzue vereinigt.

Hierbei ist jedoch die Länge der Kräftestrecken für den Winddruck, welcher in Kilogramm ausgedrückt ist, durch die Abmessung x Met. Höhe eines Steinprismas darzustellen, welches dasselbe Einheitsgewicht, als das Material des Strebebogens besitzt, dessen rechteckiger Querschnitt eine Breite von stets gleich 1 m , sonst aber eine Länge gleich der gewählten Maßzahl 2 m der Basis as des Gewichtsplans K erhält.

Wiegt 1 cbm des Wölbmaterials 2400 kg , so ist hiernach die Strecke oa des Planes K , welche die Größe des senkrecht auf der Rückenfläche des Theilstreifens vorhandenen Winddruckes gleich 216 kg angeben muß, mittels des Ausdruckes

$$x \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2400 = 216$$

als $oa = x = 0,045 \text{ m}$. Die Linie oa , parallel zu ia gezogen, hat diese Länge erhalten. Mit derselben wurde das Gewicht ax des ersten Theilstreifens I , dessen Breite als at , dessen mittlere Höhe als $xy = zu$ gegeben ist, nach bekannter Reduction auf die Basis as , zu der Resultirenden $o1$ zusammengesetzt. In ganz gleicher Weise sind alle übrigen Theilstreifen behandelt.

Im Plane des Strebebogens sind die für die einzelnen Theilstreifen aus Winddruck und Gewicht entstehenden Mittelkräfte als 1 parallel $o1$, 2 parallel 12 u. f. f. ihrer richtigen Lage nach gezeichnet; und es ist für dieselben unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon Z fest gelegt. Nach einer vorläufigen Prüfung über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche unter der Einwirkung der ermittelten, im Allgemeinen in nicht paralleler Lage auftretenden Kräfte für den möglich kleinsten Gewölbschub des Strebebogens entsteht, sind in A, B und C Punkte von Bruchfugen erhalten. Diese können für die weitere Durchführung der graphisch-statischen Untersuchung zunächst benutzt werden.

Bei der Anwendung der sog. Fixpunkt-Methode sind entweder durch B und C oder durch B und A Polaraxen zu führen. Hier ist durch die Punkte B und C eine Polaraxe \mathcal{F} gelegt. Für das Stück AB des Strebebogens ergibt sich mit Hilfe des Seilpolygons Z eine resultirende Kraft S gleich und parallel der Verbindungsgeraden 5 bis 7 im Kräfteplane K . Für das Stück CB ist P die Resultirende, parallel und gleich der Verbindungsgeraden 4 bis 5 im Plane K . Die Mittelkraft R aus P und S ist parallel und gleich einer Geraden mit den Endpunkten 4 und 7 des Gewichtsplans K . Um für die nicht einander parallelen Kräfte P und S mit ihrer Mittelkraft R ein Seilpolygon durch die gegebenen Punkte A, B und C zu legen, kann man zur Bestimmung des Fixpunktes F auf der Polaraxe \mathcal{F} das folgende Verfahren einschlagen.

Man bringt die Strahlen P, R und S mit der Polaraxe \mathcal{F} in p, r und q zum Schnitt. Zerlegt man die Kräfte P, R, S in diesen Punkten einzeln in Seitenkräfte, in die Gerade $C\mathcal{F}$ fallend und sonst parallel zu einer beliebig gewählten Axe CC_1 genommen, so mögen die Geraden π, ρ und σ , nunmehr einander parallel, die zuletzt genannten Seitenkräfte enthalten. Projicirt man die Punkte B gleichfalls parallel zu CC_1 auf eine beliebig von C_1 ausgehende, jedoch die Strahlen π, ρ und σ schneidende Axe L , so läßt sich ganz auf dem in Art. 146 (S. 208) angegebenen Wege die Projection φ des gesuchten Fixpunktes F auf der Axe L ermitteln.

Projicirt man φ parallel zu CC_1 nach F auf \mathcal{F} , so ist nunmehr wiederum ganz im Sinne von Art. 146 (S. 208) die Mittellinie des Druckes für den Strebebogen GA zu bestimmen.

Hätte man das Auffinden des Fixpunktes F unter Benutzung der Axen $C\gamma$ und γk bewirken wollen, so sind die Seitenkräfte von P, R und S , welche nicht in die Polaraxe $C\mathcal{F}$ fallen, von p, r und q aus parallel $C\gamma$ als π_1, ρ_1 und σ_1 fest zu legen und B parallel $C\gamma$ auf λ nach β zu projiciren, um alsdann in üblicher Weise auch den Punkt φ_1 auf λ als Projection von F zu erhalten.

Wird statt der durch B und C gelegten Polaraxe \mathcal{F} eine durch A und B geführte Gerade als Polaraxe angenommen, so ist das Auffinden des auf dieser Axe gelegenen Fixpunktes ganz nach den für die Polaraxe \mathcal{F} gegebenen Grundlagen vorzunehmen.

Der aufgefundenen Mittellinie des Druckes gehört im Punkte B der Gewölbschub O_15 , bzw. $5 O_1$ an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens ist die wagrechte Seitenkraft H von O_15 , bzw.

¹⁸⁹) Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 22) dieses »Handbuches«.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am stärksten gepresste Wölbuge in bekannter Weise zu verwerthen.

Die punktirt eingetragene Mittellinie des Druckes ABC u. f. f. durchschneidet die Rückenlinie des Strebebogens in der Nähe und in geringer Höhe über der Widerlagsfuge G . Ihr Endpunkt v liegt bereits im Körper des für den Strebebogen erforderlichen Strebepfeilers. Will man diese Lage von v nicht als gerade günstig ansehen, so kann man fachgemäß die Stärke des Strebebogens nach dem Widerlager zu etwas über v hinaus vergrößern.

338.
Gewölbepfeiler.

Die Gewölbepfeiler, Mittel- oder Zwischenpfeiler, bilden die Stützen für an einander gereichte Gewölbeanlagen. Sie haben den Gewölbschub von den in größerer Zahl am Pfeiler zusammentretenden oder sich anschmiegenden Rippenkörpern aufzunehmen. Heben sich die wagrechten Seitenkräfte der sämtlichen Gewölbschübe auf, vereinigen sich alle lothrechten Seitenkräfte derselben zu einer Mittelkraft, welche mit der lothrechten Axe des zugehörigen Pfeilers ganz oder nahezu zusammenfällt, so hat der Querschnitt des Pfeilers nur eine solche Größe nöthig, daß unter Berücksichtigung seines eigenen Gewichtes der Pfeiler nicht zerdrückt, bezw. nicht zerknickt wird. Diese durch die gesammte Gewölbeanlage bedingte günstigste Beanspruchung der Pfeiler tritt aber in Folge der in mannigfaltigem Wechsel stattfindenden Gewölbedurchbildung im Ganzen selten ein. Die Gewölbschübe der Gurt-, Scheide-, Kreuz-, Zwischenrippen u. f. f. wirken meistens in sich kreuzenden geraden Linien, liefern also, wie schon in Art. 293 (S. 427) erwähnt ist, ein im Raume gelegenes Kräftesystem, welches im Wesentlichen nur zu einer Mittelkraft und zu einem resultirenden Kräftepaar vereinigt werden kann. In solchen Fällen hat, in statischer Beziehung genommen, der Pfeiler, oft am zweckmäßigsten und einfachsten unter Einführung besonderer Uebermauerung der Rippen- oder Kappenkörper, bezw. einer ihn selbst treffenden Aufmauerung, ohne einen übertrieben großen Querschnitt zu erhalten, eine Gestaltung zu erfahren, welche eine Vernichtung des erwähnten Kräftepaares herbeiführt und welche zuläßt, daß die nun verbleibende Mittelkraft der Gewölbschübe, mit dem Eigengewichte des Pfeilers vereint, einen günstigen Verlauf der Drucklinie im Pfeilerkörper hervorruft. Die hier erwähnte Uebermauerung wird als vorzügliches Hilfsmittel meistens Platz greifen müssen, so bald durch die Ausmittlung der Gewölbschübe eine ungünstige Beanspruchung der Gewölbepfeiler erkannt wird, da das Umformen der Gewölberippen nach höher oder geringer aufsteigenden Bogenlinien, wodurch gleichfalls günstige Wirkungen für die Pfeiler erzielt werden können, aus Rücksicht auf die architektonische Durchbildung der Gewölbanlage in der Regel auszuschließen ist.

Eine sorgfältig durchgeführte statische Untersuchung der Gewölbekappen und des Rippenystems lehrt die Kräfte kennen, welche den Gewölbepfeiler treffen. Ihre Vereinigung zu einer gemeinschaftlichen Mittelkraft allein oder zu einer Mittelkraft nebst einem resultirenden Kräftepaare läßt sich nach den Lehren der Statik unmittelbar bei der Stabilitäts-Untersuchung der Pfeiler in den Vordergrund bringen. Durch ihre Verbindung mit den Gewichten der nach Lage und Größe geeignet geschaffenen Uebermauerungen der Gewölbe, namentlich der trichterartigen Gewölbezwickel über den Pfeilern oder einzelner Rippen in der Nähe ihrer Ansätze am Pfeiler, läßt sich bei einiger Ueberlegung von Fall zu Fall eine auf elementarem, wenn auch etwas langem Wege zu verfolgende Prüfung der Stabilität dieser Gewölbepfeiler vornehmen.

9) Ausführung der gothischen Kreuzgewölbe.

Für die praktische Ausführung der gothischen Kreuzgewölbe, sowohl der einfachen, als auch der Stern- oder Netzgewölbe ist unter 7 (S. 435) schon eine grössere Zahl von wichtigen Anhaltspunkten gegeben, welche namentlich für die zwischen selbständigen Rippen zu wölbenden Kappen zu beachten sind.

339.
Gewölbe-
kappen.

Eine besondere Ausführung der Kappen macht sich dagegen bei einer Gruppe von Kreuz-, besonders Netzgewölben ohne selbständig hergerichtete Rippenkörper geltend, welche den Namen »Zellengewölbe« führen. Die Laibungsflächen dieser Gewölbe gehören geraden Kegelflächen an, deren Basis-, bzw. Leitlinien die Rippenlinien enthalten. Die Kegelflächen durchschneiden sich in den von den einzelnen Grat- oder Rippenkanten begrenzten Kappengebieten nach einer besonderen First- oder Zellenkante, welche in Gemeinschaft mit den beiden von den Rippenlinien sattelförmig aufsteigenden Wölbflächen die Gestaltung von falten- oder zellenartigen Gewölbekappen bedingt. Hierbei sind für jede Rippenlinie zwei gerade Kegelflächen vorhanden, welche in dieser Linie eine gemeinsame Leitlinie besitzen. Die Spitzen dieser Kegel liegen auf den in einer einzigen Geraden zusammenfallenden Kegelaxen symmetrisch zur Ebene der Rippenlinie, und zwar rechts und links in einem dem Halbmesser der Basislinie gleichen Abstände.

340.
Zellengewölbe.

Dafs ein Verhauen der als Wölbsteine benutzten Backsteine bei den sog. rippenlosen Gewölben thunlichst zu vermeiden ist, läßt sich bei den vorzugsweise in den Ostseeländern während des Mittelalters ausgeführten Zellengewölben, deren Kappen selbst bei einer reichen Durchbildung¹⁸⁷⁾ im Allgemeinen nach geraden Kegelflächen angeordnet sind, erkennen. Da die Stellung der schmalen Wölbflächen in jedem einer einzelnen Rippenlinie angehörenden Kappengebiete in den Lagerflächen nach Normalebenen zur gemeinschaftlichen Basislinie (Rippenlinie) der beiden erwähnten Kegelflächen äufserst einfach erfolgen kann, da ausserdem die Lagerkanten alsdann Seitenlinien dieser Kegel bleiben; so schliessen die für sich zusammentretenden Lagerkanten vermöge der vorhin bezeichneten symmetrischen Anordnung der Kegelspitzen an jeder Stelle eines Normalschnittes am Rippenbogen einen rechten Winkel ein. Ein besonderes Zuschärfen oder ein umständliches Verhauen der Backsteine ist also im Gegensatz zu der Einwölbung auf Schwalbenschwanz-Verband nicht erforderlich.

Da die Anwendung der Zellengewölbe bei Deckenbildungen der Neuzeit nicht auszuschliessen ist, so soll für die Gestaltung und Einwölbung dieser interessanten Gewölbe in Fig. 534 das Nähere angegeben werden. Der im Grundrifs quadratisch genommene Raum $abcd$ ist durch die stark ausgezogenen Rippenlinien ae , ah u. f. f. nebst den Scheitellinien eg , hf zunächst im Sinne von Art. 286 (S. 416) mit einer einfachen Netzgewölbbildung versehen.

Die sämtlichen Rippenlinien ae , ah u. f. f. sind beliebige Kreisbogen B mit gleichem Halbmesser βa . Die Randbogen ab , bc u. f. f. sind Spitzbogen mit Schenkeln A , deren Halbmesser αb gleichfalls beliebig angenommen ist.

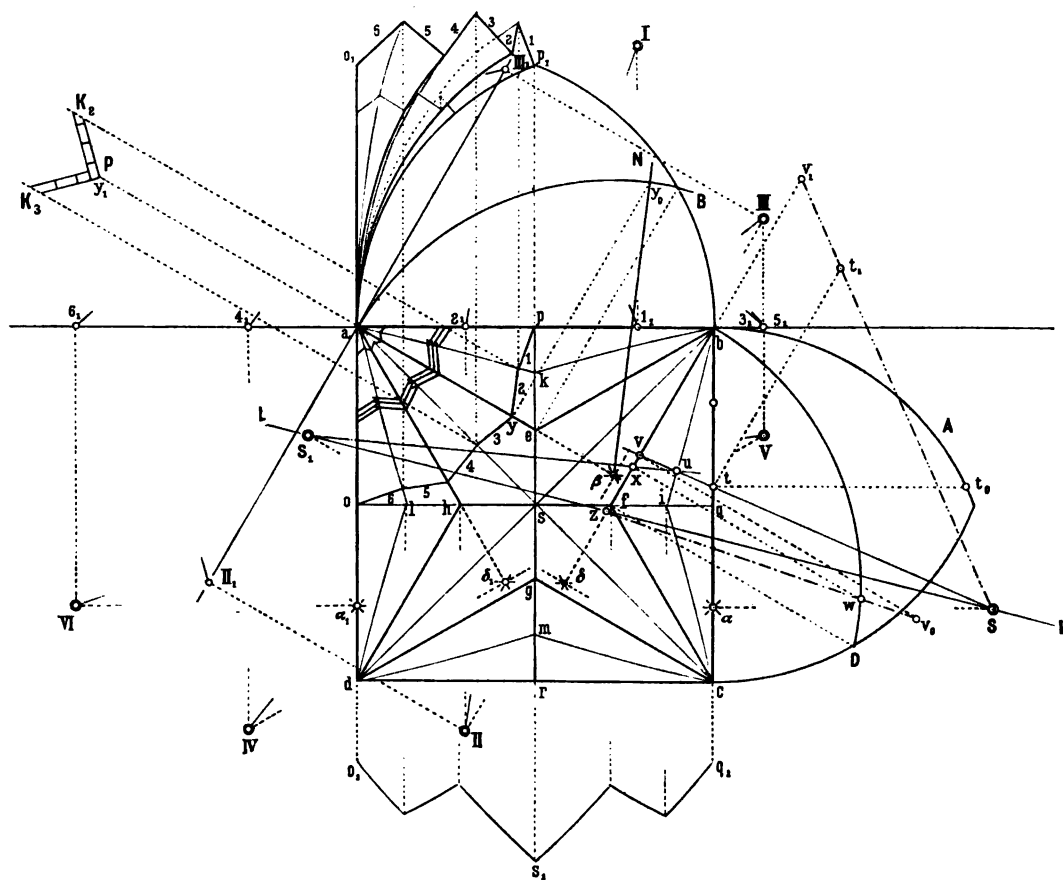
Die Mittelpunkte α , β dieser Bogen liegen hier in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Für das Kappengebiet bfg treten zwei gerade Kegelflächen mit der Leitlinie A für bq und der Leitlinie D für bz mit dem Halbmesser δb gleich βa des Bogens B zusammen. Die Spitze des Kegels für bq ist S im Lothe αS auf bc , wobei $\alpha S = \alpha b$, während die Spitze des Kegels für bf der Punkt S_1 des Lothes δS_1 auf $b\delta$ ist. Auch hierbei muß $\delta S_1 = \delta b$ genommen werden.

¹⁸⁷⁾ Siehe auch: BISANZ. Studie über ein Zellengewölbe. Allg. Bauz. 1888, S. 30.

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um LL gedrehte Ebene annehmen kann, schneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelflächen nach Seitenlinien. Diese ergeben für die zugehörige Ebene in ihrem Schnitte je einen Punkt der Durchdringungslinie der Kegelflächen. So ruft eine um LL gedrehte Ebene auf der Kegelfläche A eine Seitenlinie, deren wagrechte Projection Sv ist, hervor. Der

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um LL gedrehte Ebene annehmen kann, schneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelflächen nach Seitenlinien. Diese ergeben für die zugehörige Ebene in ihrem Schnitte je einen Punkt der Durchdringungslinie der Kegelflächen. So ruft eine um LL gedrehte Ebene auf der Kegelfläche A eine Seitenlinie, deren wagrechte Projection Sv ist, hervor. Der

Fig. 534.



Durchstoßpunkt v , dieser Seitenlinie mit der lothrechten Ebene der Leitlinie D oder des Rippenbogens δf liegt um $vv_0 = vv_1$, wie ohne Weiteres mit Hilfe des verlängerten Strahles St_1 , für welchen $tt = tt_0$ ist, gefunden wird, über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Die durch LL und Sv gehende Ebene schneidet die Ebene des Bogens D in der Geraden sv_0 , welche wiederum den Bogen D im Punkte w trifft. Die wagrechte Projection des Punktes w ist der Punkt x auf δf . Durch x und S_1 muß die Seitenlinie S_1x gehen, welche durch die bezeichnete Ebene LSv auf der Kegelfläche für die Leitlinie D entsteht.

Der Schnitt u der genügend verlängerten Seitenlinie $S_1 x$ mit der Seitenlinie Sv ist die wagrechte Projection eines Punktes der Zellenkante bi . In gleicher Weise können beliebig viele Punkte der Grundriss-Projection dieser Zellenkante bestimmt werden.

Den Kappengebieten innerhalb des regelmäfsig gestalteten Netzes $ae b f c g d h$ gehören gerade Kegelflächen mit vollständig gleichen Leitlinien (Rippenlinien) an. Die wagrechten Projectionen der aus

dem Durchschneiden der einzelnen Kegelflächen entstehenden Zellenkanten werden gerade Linien as , bs , cs und ds , welche im vorliegenden Falle als Halbierungslinien der Winkel eah , ebf u. f. f. mit den Diagonalen des Grundrisses zusammenfallen.

Sind die sämtlichen Grundriss-Projectionen der Zellenkanten eingetragen, so lassen sich die Lagerkanten der Wölbschichten der einzelnen Kappen mit Hilfe der wagrechten Projectionen der Spitzen der Kegelflächen, welche für die Gewölbekappen maßgebend geworden sind, im Grundriss fest legen.

So ist zur Erfüllung der Vorschrift, wonach die Lagerflächen der Wölbschichten eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, stets Normalebenen zu dieser Rippenlinie angehören sollen, für einen Punkt y_0 einer Wölbschicht am Rippenbogen B eine Normalebene mit der Aufrissspur βN und der wagrechten Spur $II\beta III$ bestimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebenen des Bogens B unverändert.

Den zusammengefügteten Kappenstücken ake und ase entspricht dieselbe Leitlinie B , beschrieben mit dem Halbmesser βa . Für das Stück ake ist die Spitze des zugehörigen geraden Kegels der Punkt II , welcher auf der wagrechten Spur $II\beta III$ der Normalebene βN im Abstände βII gleich dem Halbmesser βa des Bogens B liegt. Die Gerade βII ist die Kegelaxe. Eben so ist $\beta III = \beta II = \beta a$ die Kegelaxe für das Kappenstück ase und III die Spitze der zugehörigen Kegelfläche. Die Grundriss-Projection des Punktes y_0 ist y . Zieht man durch y von II aus den Strahl ys im Kappenstücke ake und eben so von III aus den Strahl $y\mathcal{J}$ im Kappenstücke ase , so sind in den Linien s und \mathcal{J} die wagrechten Projectionen der Lagerkanten einer Wölbschicht der Normalebene $y_0 N$ gefunden. Ist nun der Bogen B mit den Theilpunkten der einzelnen Wölbschichten nach den Backsteindicken versehen, so kann, unter Verfolgung des für den Punkt y_0 angegebenen Weges, die gesammte Schar der Lagerkanten der Wölbschichten des Kappengebietes $akesa$ gezeichnet werden.

Die wirkliche Gestalt des Normalschnittes βN ist im Plane P dargestellt. In demselben ist $ay_1 = \beta y_0 = \beta a$. Die Lagerkante $y_1 K_2$ geht erweitert durch den Punkt II_1 , während die Lagerkante $y_1 K_3$ nach III_1 gerichtet ist. Da $ay_1 = a II_1 = a III_1$ ist, so steigen die Kanten $y_1 K_2$ und $y_1 K_3$ unter 45 Grad zur lothrechten Ebene ay_1 des Rippenbogens B an, bilden also in y_1 einen rechten Winkel $K_2 y_1 K_3$.

Um den Zug der Lagerkanten s und \mathcal{J} für die übrigen angrenzenden Kappengebiete akp , ash , ahl und alo im Grundriss fortsetzen zu können, hat man nach den gegebenen Entwicklungen nur nöthig, die Axen und Spitzen der entsprechenden Kegelflächen in der Grundriss-Projection zu bestimmen.

So erhält man für das Stück akp die Gerade $r, I = r, a = ba$ als Kegelaxe und I als Kegelspitze. Zieht man vom Schnitte der Kante a mit der Zellenkante ak aus den Strahl r nach I , so ist die wagrechte Projection der Lagerkante r im Gebiete akp im Zusammenhange mit dem Zuge s, \mathcal{J} erhalten. Für die Lagerkante r ist IV , für s ist V und für \mathcal{J} ist VI , wie aus der Zeichnung sofort entnommen werden kann, grundlegend zu machen.

Die Aufriss-Projection $p, 1, 2, 3, 4, 5, 6, o$, des bezeichneten Zuges der zusammengehörigen Lagerkanten ergibt sich unter Benutzung der Aufriss-Projectionen der einzelnen Kegelspitzen r, s , u. f. f. bis o , nach Maßgabe der Zeichnung, welche alsdann auch die eigenthümliche, aber sehr einfache Zellenbildung des Gewölbes noch näher erkennen läßt.

Da alle in Anwendung kommenden Kegelflächen vollständig bestimmt sind, so können auch die Austragungen der in der lothrechten Ebene oq enthaltenen Kegelschnitte im Zuge o, s, q , und somit die wirklichen Bildungen der Zellenkanten über oh, hf und fq leicht vorgenommen werden.

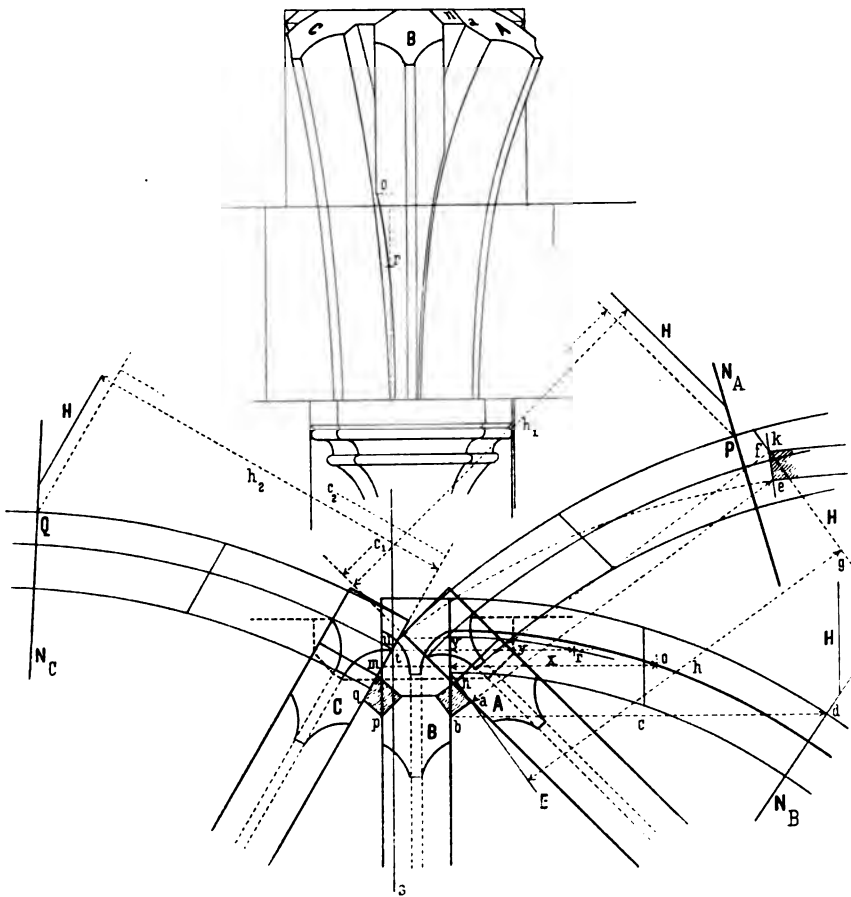
Die gegebenen Regeln für die Gestaltung der Zellengewölbe über quadratischem Grundriss finden auch Anwendung bei rechteckigen, sonstigen regelmäßigen und bei unregelmäßigen Grundrissen.

Für die Ausführung dieser Gewölbe sind vorzugsweise Backsteinmaterial und gut bindender Mörtel zu benutzen. Lehrbogen sind nur für die Rippen-, bzw. Randbogen nöthig. Die Kappen werden freihändig gemauert und hierbei ergeben sich die Zellenbauten ohne Weiteres. Ueber den Zellenkanten läßt man die einzelnen Schichten, so lange sie noch unter einem Winkel zusammenstoßen, welcher ihr Ineinandergreifen gestattet, nach Art des Schwalbenschwanz-Verbandes vermauern, während bei einem fast nach gerader Linie erfolgenden Zusammentreten der Schichten nur ein einfaches Zusammenstoßen der Steine vorgenommen wird.

Die Gewölbeanfätze an den Ecken des Raumes werden am zweckmässigsten als Quaderanfänger, etwa mit einer Höhe von 1,0 bis 1,5 m über der Kämpferebene aufhörend, angefertigt. Die Stärke der Zellengewölbe beträgt meistens nur $\frac{1}{2}$ Backstein. Zur Vermeidung sehr weit gespannter Zellenkappen, welche, abgesehen von der Einführung einer größeren Stärke, ein zu bedeutendes Divergieren der Lagerkanten veranlassen, ist das System der Rippenlinien so anzuordnen, daß sich verhältnißmäßig kleine Zellengebiete geltend machen.

Als Wölbmaterial für die Kappen dienen von den künstlichen Bausteinen hauptsächlich gute Backsteine, voll oder durchlocht, ferner fog. poröse Backsteine

Fig. 535.



von nicht zu geringer Festigkeit und außerdem die sehr geschätzten, meistens 25 cm langen, 12 cm breiten und 10 cm dicken, bei Andernach am Rhein angefertigten fog. Schwemmsteine.

Von den natürlichen Baumaterialien gelangen leichtere Sand- und Kalksteine, krystallinische Schiefergesteine und die Tuffe, sobald damit ein freihändiges Wölben möglich ist und ihre Anschaffung billiger wird, als die der Backsteine, zur Verwendung.

Als Bindemittel dient guter Kalkmörtel oder ein sorgfältig zubereiteter, verlängerter Cementmörtel.

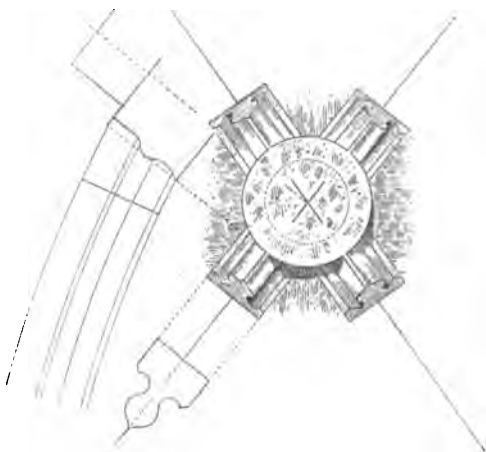
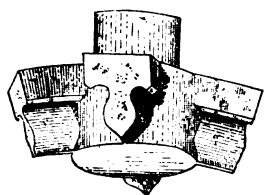
Für die Rippen sind stets, mögen dieselben aus Backsteinen oder aus Werkstücken ausgeführt werden, Lehrbogen zur Unterstützung aufzustellen. Letztere sind möglichst einfach, jedoch in sich kräftig und tragfähig nach den im Allgemeinen auch hier geltenden Leitsätzen in Art. 152 (S. 220) herzurichten und sachgemäß zu unterlagern. Ist für ein ausgedehnteres Rippenystem eine Vereinigung mehrerer Lehrbogen erforderlich, welche das Aufstellen eines Mönches oder Mäklers bedingen, so ist das in Art. 265 (S. 385) in Bezug auf die Lehrbogen der Grate cylindrischer Kreuzgewölbe Gefagte zu beachten.

Die Einrüstung und Ausführung der Rippen muß stets für eine grössere Zahl, mindestens drei, der benachbarten Gewölbefelder vorgenommen werden; auch ist sorgfältig durch Anbringen von Absteifungen ein Verschieben der Rippen, bezw. der Gewölbetheile, sobald das Einwölben der Kappen beginnt, in den noch nicht mit Wölbung zu schliessenden Feldern zu verhüten. Werden die Rippen aus Werkstücken angefertigt, so erhalten dieselben eine Länge von 0,5 m bis etwa 1,0 m. Die Anfänger zusammentretender Werksteinrippen sind zweckmässig aus einem grösseren Quader herzustellen, an welchem in geeigneter Weise die Rippen- und auch die Kappenansätze angearbeitet werden. In Fig. 535 ist ein solcher Anfänger für eine Querrippe *B* und zwei Kreuzrippen *A* und *C*, welche von der Umfangsmauer eines Gewölbes ausgehen, in zwei über einander liegenden Schichten gegeben.

Die untere Schicht ist durch wagrechte Lagerflächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagerfläche *H* im Abstände $h = h_1 = h_2$ über der Kämpferebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebenen N_A , N_B , N_C bestimmten Ansatzflächen der Rippen *A*, *B*, *C* und Kappenansätze, wie *n*, zeigt. Die Ausmittlung dieser Ansatzflächen kann ohne Schwierigkeit unmittelbar aus der Zeichnung entnommen werden.

Eben so werden die Schlusssteine der im Scheitel des Gewölbes zusammentretenden Rippen als selbständige Werkstücke in mannigfachster, oft äusserst reicher, selbst phantastischer Art als besondere volle oder durchbrochene Werkstücke gearbeitet.

Fig. 536.



In Fig. 536 ist ein einfacher Schlussstein mit cylindrischem Kern und besonders angearbeiteten Rippenansätzen dargestellt. Der Durchmesser des cylindrischen Kernes ist stets so gross zu nehmen, daß ein hässliches Ineinanderschneiden der Begrenzungslinien oder der Seitenflächen der Rippen vermieden wird. Häufig werden, wie Fig. 537 angiebt, auch die Rippenprofile an den Seitenflächen des cylindrischen Kernes mit angearbeitet. Die Anordnung, Form, Ausschmückung der Schlusssteine ist der grössten Freiheit unterzogen worden. Gleiche Massnahmen können bei den gemeinschaftlichen Zwischenstücken sich kreuzender Rippen der Stern- und Netzgewölbe getroffen werden. Die Bauwerke der Gothik bieten hierfür eine ganz erhebliche Anzahl von Beispielen.

Für das Versetzen der Werkstücke der Rippen ist das Einlegen dünner Blei-

platten bei den Fugenflächen sehr zweckmäfsig. Dabei treten die Ränder der Bleiplatten überall um 1 cm ringsum von den Kanten der zusammentretenden Lagerflächen der Rippenstücke zurück. Hierdurch entsteht eine ringsum laufende, 1 cm tiefe, offene Fuge, die ein durch Kantenpressungen sonst leicht erfolgendes Abplittern von Kantenheilen möglichst verhindert. Beim Veretzen der Rippenstücke in Mörtel findet das in Art. 170 (S. 246) Vorgetragene Berücksichtigung.

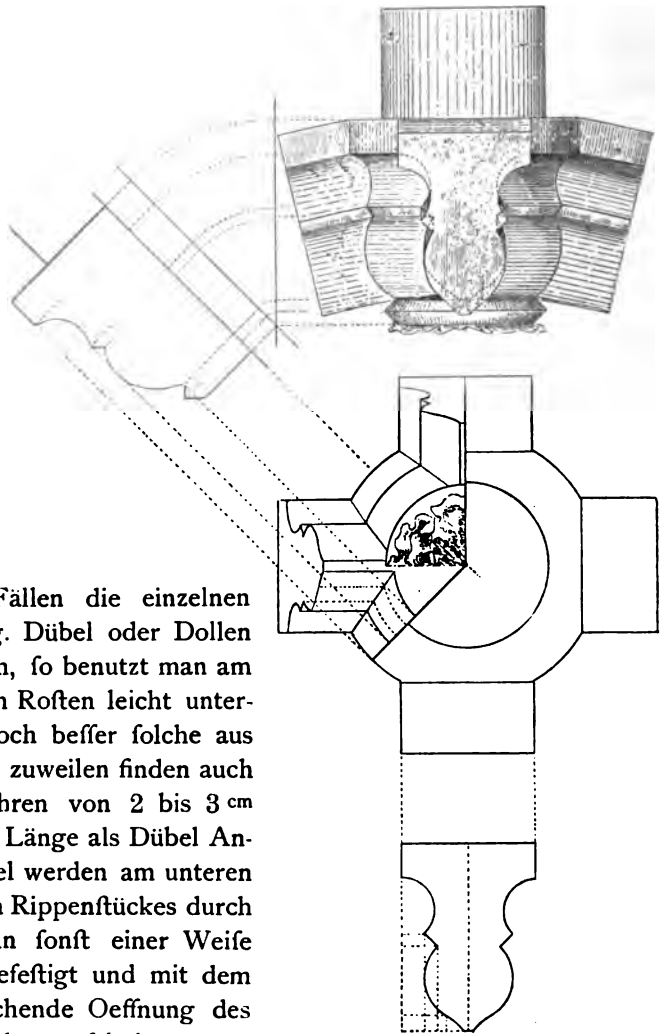
Sollen in besonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch fog. Dübel oder Dollen mit einander verbunden werden, so benutzt man am besten, statt der eisernen, dem Rosten leicht unterworfenen Dübel oder Stifte, noch besser solche aus Kupfer, Bronze oder Messing; zuweilen finden auch Messingröhren oder Kupferröhren von 2 bis 3 cm Durchmesser und 10 bis 12 cm Länge als Dübel Anwendung. Die einzelnen Dübel werden am unteren Lagerflächentheile eines oberen Rippenstückes durch Einbleien, Eingypfen oder in sonst einer Weise der Hälfte der Länge nach befestigt und mit dem freien Theile in eine entsprechende Oeffnung des darunter liegenden Rippenstückes geschoben.

Bei Werksteinrippen wird meistens der Schlussstein zuerst veretzt und genau gerichtet. Durch genaues Vorreissen der Mittellinie der Grundrißbreite der Rippe auf ihrem Lehrbogen wird beim Veretzen der einzelnen Rippenstücke vom Anfänger aus die in sorgsamster Weise zu wahrende Richtung der Rippenbogen angegeben.

Das Einwölben der Kappen zwischen dem fertigen Rippengebilde ist in gleichmäfsigem Fortschritte von allen Anfängen der einzelnen Kappengebiete aus vorzunehmen. Zeigt sich bei diesem Einwölben, wie zuweilen der Fall ist, ein leichtes Heben der Rippen nach dem Schlusssteine zu, so mufs für eine entsprechende, später wieder zu beseitigende Belastung des Schlusssteines durch aufgelegte Backsteine rechtzeitig gesorgt werden. Werden die Rippen aus Backsteinen oder besonderen Formsteinen ausgeführt, so können dieselben entweder wie die Werksteinrippen als selbständige Bogen behandelt oder auch gleichzeitig mit der Wölbung der Kappen hergerichtet werden.

Sollen besondere, aus Quadern oder Backstein herzustellende Schildbogen angeordnet werden, welche demnächst zur Hälfte vor der Fläche der Schildmauer

Fig. 537.



liegen sollen, so sind in dieser Mauer schon während ihrer Ausführung die zur Aufnahme der rückliegenden Hälfte dieser Schildbogen erforderlichen Nuthen oder Falze zu bilden. Solche Falze sind auch für die Ansatzflächen der an die Schildmauern tretenden bußigen Kappen zu schaffen. Nach Schluß der Gewölbe findet ein Uebergießen mit dünnflüssigem Kalk- oder Cementmörtel zur Erzielung eines vollständigen Schlusses der hier und dort mit Lücken behafteten Fugen des Wölbmauerwerkes statt. Etwa anzubringende Ausmauerungen der Gewölbzwinkel oder Uebermauerungen der Rippen, Pfeiler u. f. f. sind in regelrechtem Verlande herzustellen. Ueber die Zeit der Ausführung, über die Maßnahmen der Trockenhaltung, so wie über die Ausrüstung der gothischen Kreuzgewölbe sind alle in Kap. 9, unter c bei der Besprechung der Ausführung der Tonnengewölbe angegebenen Gesichtspunkte wiederum zu beachten.

15. Kapitel.

Fächer- oder Trichtergewölbe.

a) Gestaltung der Fächergewölbe.

Das Fächergewölbe, auch Trichter-, Palmen- oder Strahlengewölbe genannt, besitzt als Laibungsfläche eine Umdrehungsfläche. Dieselbe wird durch Drehung einer gesetzmäßig gebildeten ebenen Curve um eine in ihrer Ebene angenommene, feste, lothrechte Axe erzeugt, welcher sie in jeder neuen Stellung ihre convexe Seite zukehrt. Hierdurch entsteht eine kegel-, bzw. trichterartige Gewölbeform.

349.
Form.

Die allgemeine Grundgestaltung der Laibungsflächen a dieser Gewölbe ist in Fig. 538 mit der erzeugenden Curve C und der festen lothrechten Axe A gekennzeichnet.

Als Erzeugende wird ein Kreisbogen, bzw. ein Viertelkreis, eine elliptische Linie, bzw. eine Vierteilellipse, ein Korbogen u. f. w. gewählt. Meistens wird die erzeugende Curve so gestellt, daß in ihrem Fußpunkte die Führung einer lothrecht gerichteten Tangente möglich wird. An den spätgothischen Bauwerken Englands tritt bei den Fächer- oder Trichtergewölben vorzugsweise eine gedrückte, ziemlich flache, in der Erstreckung am Scheitel mäßig gekrümmte Bogenlinie, welche der Hälfte eines sog. Tudorbogens angehört, als Erzeugende auf.

Der Tudorbogen ist im Allgemeinen ein Knickbogen; Fig. 539 zeigt hierfür eine Construction. Sind die Spannweite cd und die Pfeilhöhe ef vorgeschrieben, so kann das Zeichnen des Bogens in folgender Weise vorgenommen werden.

Auf der Verbindungsgeraden K der Kämpferpunkte c, d wähle man außerhalb der Spannweite cd den Punkt g beliebig; jedoch, falls eine längere flache Bogenlinie A nach dem Scheitel zu vorherrschen soll, in einem nicht zu großen Abstände dg vom Kämpferpunkte d . Durch diesen Punkt g und den Scheitelpunkt f lege man einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt a auf der in bekannter Weise zu bestimmenden Geraden l so gewählt wird, daß die Bogenlinie fg die gewünschte mäßig

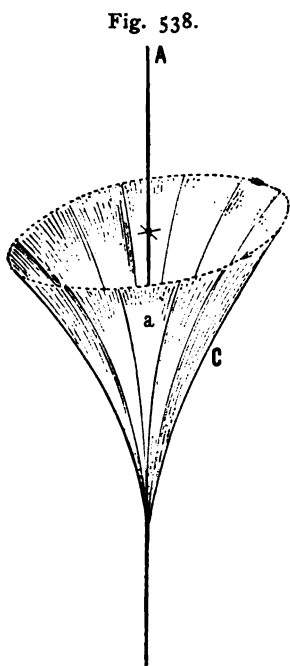
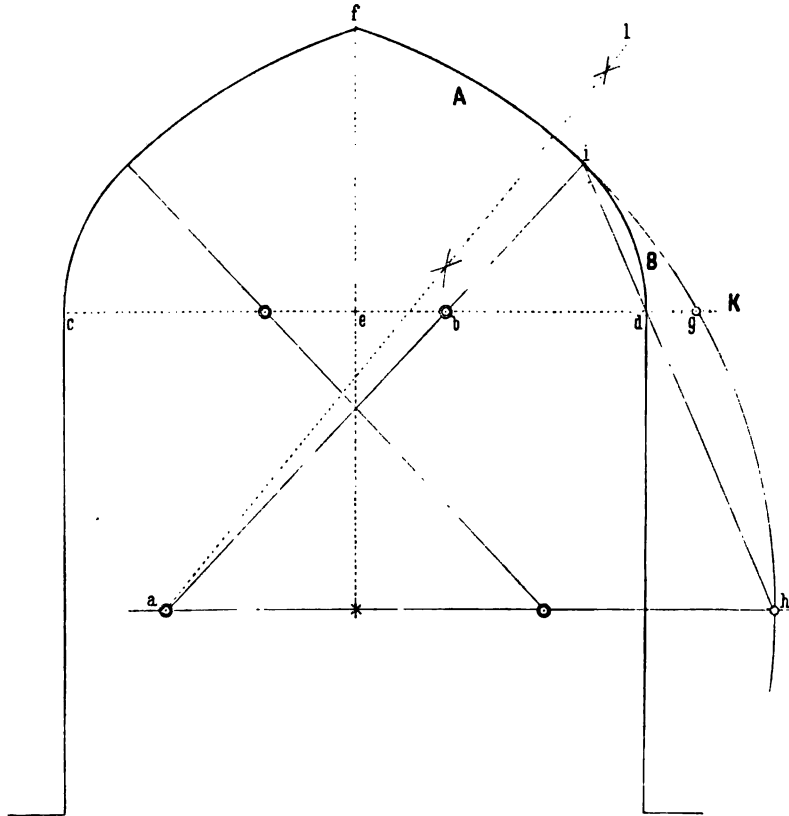


Fig. 539.



gekrümmte Form *A* erhält. Der sonst beliebig anzunehmende Punkt *a* liegt zweckmäßig auf der Linie noch innerhalb des Gebietes der Spannweite *cd*.

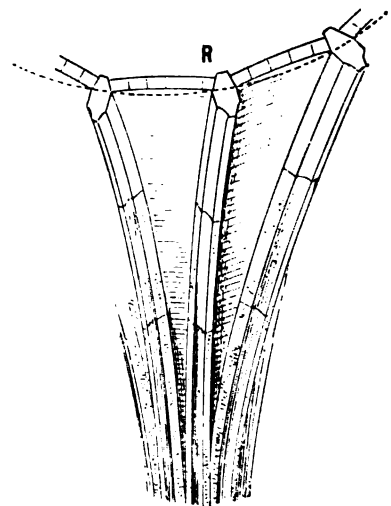
Ergänzt man den Kreisbogen *fg* zu einem Viertelkreise *fh*, zieht man den Strahl *ad* bis zum Schnitte *i* mit dem Bogen *fg*, und führt man zuletzt den Strahl *ia*; so wird der Schnitt *b* dieses Strahles mit der Geraden *cd* der Mittelpunkt des Ansatzbogens *B* des halben Tudorbogens *dif*. Die beiden Kreisbogen *A* und *B* besitzen in *i* eine gemeinschaftliche Tangente.

Der vollständige Tudorbogen ist also im Besonderen ein gedrückter, aus 4 Mittelpunkten beschriebener Spitzbogen.

Setzt man an die Stelle der erzeugenden Bogenlinie wirkliche Rippenkörper *R* (Fig. 540), so lassen sich diese in ihrer Gesamtheit auf die erwähnte Umdrehungsfläche zurückführen.

Nimmt man den in der Kämpferebene der Rippen gelegenen Fußpunkt der lothrechten Umdrehungsaxe als gemeinschaftlichen Ausgangspunkt ihrer Grundrißlinien (Axenlinien) an; giebt man den Grundrißwinkeln der strahlenförmig neben einander liegenden Rippenzüge möglichst dieselbe Größe, so entsteht das geordnete Rippenystem des eigentlichen Fächer-, Strahlen- oder Palmen- gewölbes.

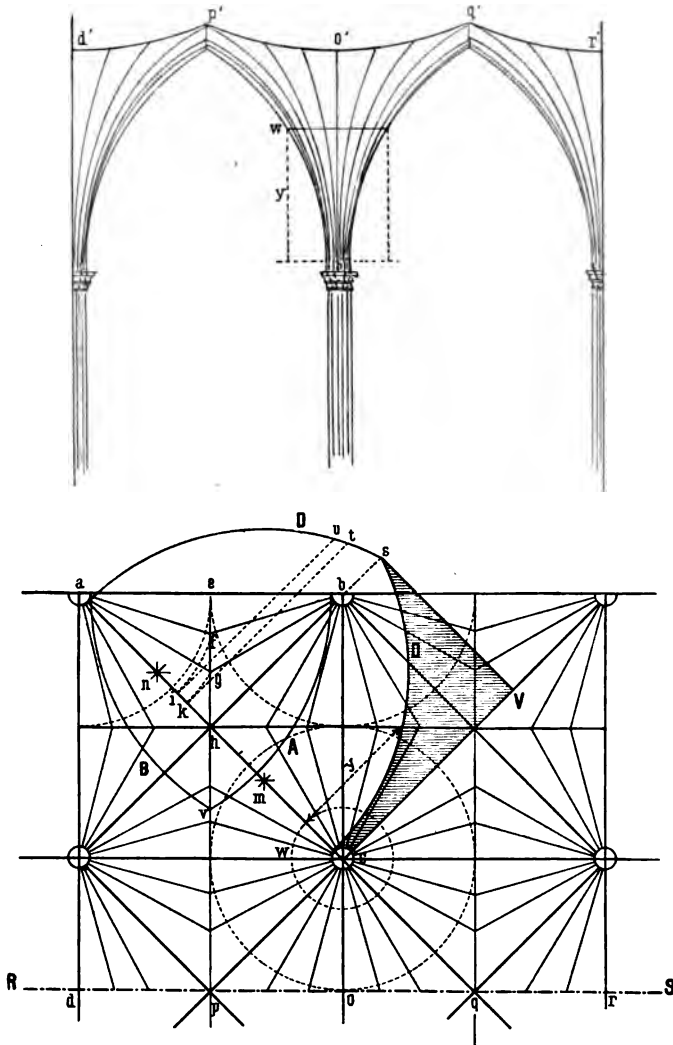
Fig. 540.



Zwischen den Rippen liegen die verhältnißmäſsig gering gespannten, ohne Schwierigkeit einzuwölbenden oder ſonſt in einfacher Weiſe zu ſchließenden Gewölbefelder (Gewölbekappen), Gewölbfache oder die ſog. Fächer. Die gemeinſchaftliche Stütze des derart angeordneten Rippen- und Kappenkörpers tritt als Pfeiler oder als Säule auf. Die lothrechte Axe dieſer Stütze iſt die Verlängerung der Umdrehungsaxe des zugehörigen Gewölbfückes.

Je größer die Zahl der von einer Stütze ausgehenden Rippen iſt, je mehr ſich dieſelben wie Palmzweige ſchlank und nach oben gerichtet fächerförmig ausbreiten, um ſo ſchöner und ausdrucksvoller erſcheinen dieſe Deckenbildungen.

Fig. 541.



der Säule c giebt die in den Grundriß niedergelegte Umdrehungsaxe V . Als erzeugende Curve der Umdrehungsfläche des Rippenſystems iſt der um n beſchriebene Schenkel D eines in der diagonalen Richtung ac ſtehenden Spitzbogens frei gewählt.

Eine in beliebiger Höhe y durch die Erzeugende D geführte wagrechte Ebene ſchneidet die entſtanden gedachte Umdrehungsfläche nach einem Kreiſe w . Dieſer iſt als Theilkreis für die Grundriſſe der Axenlinien der von c ſtrahlenförmig ausgehenden Gewölberippen benutzt. In der Zeichnung ſind die

Iſt ein Raum von ausgedehnter Grundfläche mit Fächergewölben zu überdecken, ſo iſt durch Pfeiler- oder Säulenſtellungen das Zerlegen dieſer Grundfläche in Abtheilungen vorzunehmen. Die Grundrißflächen der Abtheilungen ſind möglichſt von gleicher Größe als Quadrate oder als Rechtecke an einander zu reihen. Die lothrechten Axen der Wand- und Zwiſchenpfeiler, bzw. Säulen beſtimmen dann ſofort auch die Stellung der Axen für die Umdrehungsflächen des Gewölbfeyſtems, welches nunmehr eine Gruppe gleichmäſſig geſtalteter Fächergewölbe umfaßt.

Hiernach iſt in Fig. 541 im Grundriß und im Schnitt nach RS die Geſtaltung einer Anlage von Fächergewölben über Abtheilungen mit quadratiſcher Grundfläche vorgenommen. Die verlängerte lothrechte Axe

344.
Quadratiſche
Grundform.

Grundrisswinkel der Rippenlinien nach gleicher Grösse fest gesetzt. Verfährt man in Rücksicht auf das Festlegen der Rippenstrahlen in übereinstimmender Weise bei allen Axen der Wand- oder Freistützen, welche als Eckbildungen der einzelnen Abtheilungen des gesammten Deckenkörpers zu gelten haben, so ergibt sich, wie ohne Weiteres aus der Zeichnung zu entnehmen ist, der Grundriss für sämmtliche Rippenlinien, welche für eine Abtheilung an sich betrachtet, sternartig zusammentreten. Dabei treffen sich die Rippenlinien ae und be im Punkte e an der Stirnseite ab der Abtheilung k . Der Stirnbogen dieser Abtheilung ist der Spitzbogen AB mit dem Scheitelpunkte v . Seine Schenkel A , bezw. B sind mit dem unveränderlichen Halbmesser ns des erzeugenden Kreisbogens D zu beschreiben. Die Schnitt-, bezw. Vereinigungspunkte e, f, g, h u. f. f. der einzelnen, entsprechend gelegten Rippenlinien liegen vermöge der unveränderlichen Form der Erzeugenden D in verschiedenen Höhen über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Sie bestimmen aber die Scheitellinien der Gewölbe für die einzelnen Abtheilungen. Die Höhen ix für den Punkt f , kt für den Punkt g u. f. f. sind unter Benutzung der Erzeugenden D nach der in der Zeichnung enthaltenen Anleitung leicht zu finden.

Führt man in der Richtung zusammengehöriger Scheitellinien, z. B. dr , eine lothrechte Ebene RS , so werden die Umdrehungsflächen der betroffenen Gewölbtheile nach einer wellenförmigen Linie $d'p'o'q'r'$ geschnitten, welche die wirkliche Form der Scheitellinie ergibt.

Sollten aus besonderen Gründen die wellenförmigen Scheitellinien ganz vermieden, vielmehr durch gerade Linien, welche unmittelbar von d' nach p' und von o' nach p' u. f. f. aufsteigen, oder selbst durch wagrechte Linien ersetzt werden, so muß für die Rippen, wie be , bf , bg u. f. f., eine Umänderung der ursprünglichen Erzeugenden D , welche alsdann nur für die Rippen wie ch , ah u. f. f. bestehen bleibt, eintreten. Man verwendet alsdann für die Rippengruppe be , bf , bg u. f. f. den in Art. 288 (S. 418) besprochenen Korbbogen, dessen unteres Stück über dem Gewölbekörper aber in möglichst grosser Länge mit dem Halbmesser der gegebenen Erzeugenden D beschrieben wird. In der englischen Gothik ist bei Fächergewölben diese Anordnung häufig gebraucht.

345.
Rechteckige
Grundform.

Werden die Grundrisse der Abtheilungen einer grösseren Anlage von Fächergewölben als Rechtecke angeordnet, so ist es nicht nöthig, die Grundrissgestaltung der Rippenstrahlen und die weitere Durchbildung des Wölbsystems im Allgemeinen in einer von der quadratischen Grundrissform abweichenden Weise vorzunehmen.

Will man hinsichtlich der Strahlenlage der Rippen eine Aenderung eintreten lassen, so kann, wie in Fig. 542 für die Hälfte einer rechteckigen Abtheilung eines Fächergewölbes angegeben ist, diese Strahlenlage durch die geeignete Theilung der wagrechten Projectionen fl , ml der Scheitellinien des Gewölbes bestimmt werden.

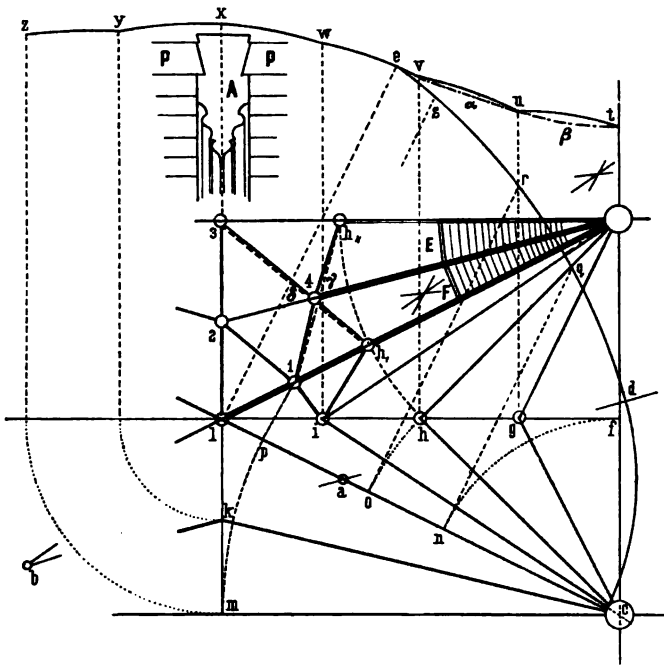
Hier ist die Scheitellinie fl in 4, ml in 2 gleiche Theile zerlegt. Die z. B. vom Fußpunkte c der Umdrehungsaxe nach jenen Theilpunkten gezogenen Geraden cg , ch , ci , ck ergeben in Gemeinschaft mit der Diagonalenstrecke cl das Grundrissgebilde der Rippen. Die Grundrisswinkel an der Stütze c sind ungleich gross.

Als Erzeugende der Rippen ist ein Knickbogen (Tudorbogen) cde gewählt, dessen unteres Stück bis d um a mit dem Halbmesser ad , dessen oberes, weit längeres Stück de um b mit dem Halbmesser bd beschrieben wurde. Dieser Bogen ist die lothrechte Projection der Rippenlinie cl . Die Form aller übrigen Rippenbogen ist hiervon unmittelbar abhängig gemacht. So entspricht der Rippenbogen über ch dem Knickbogen bis zum Punkte r . Denn dreht man ch um c nach co , so giebt der Schnitt r des in o auf cl errichteten Lothes or die Begrenzung des für die Rippe cl erforderlichen Theiles von dem zu Grunde gelegten erzeugenden Knickbogen an. In demselben Sinne hat man zu verfahren, um z. B. in cds den halben Stirnbogen über cm oder in cdq den halben Stirnbogen über cf , wie aus der Zeichnung zu entnehmen ist, zu erhalten.

Die nach der Linie fl lothrecht gestellte Ebene schneidet die Gewölbfäche nach der wellenförmigen Scheitellinie tx . Zur Bestimmung derselben ist z. B. $ft = nq$, $lx = le$, $hv = or$ u. f. f. aufzutragen.

Hierbei ergeben sich, je nach der Form des erzeugenden Knickbogens, zuweilen auch nach unten

Fig. 542.



in der Geraden 12 die Grundrisslinie einer neuen Zwischenrippe erhalten.

Bewegt man den Punkt h , nach h_{11} , so ergibt sich in h_{11} die wagrechte Projection eines Rippenpunktes, welcher genau so hoch, und zwar um or , über der Kämpferebene des Gewölbes liegt, als die den Projectionen h und h , zugehörigen Rippenpunkte.

Verbindet man 1 mit h_{11} , und h mit 3 durch gerade, hier punktirt gezeichnete Linien, so schneiden dieselbe den Rippenstrahl a , welcher die Gewölbfächen E und F trennt, in den Punkten γ , bzw. δ , also im Allgemeinen nicht in einem gemeinschaftlichen Punkte. Um die hier einzuschaltenden Zwischenrippen mit einem gemeinschaftlichen Anschlußpunkte auf der Rippe a zu erhalten, wird die Strecke $\gamma\delta$ im Punkte q halbiert und nunmehr q als gemeinsamer Punkt für die nach $4h$, 41 , $4h_{11}$, und 43 gerichteten Zwischenrippen zu Grunde gelegt.

Das Austragen der wirklichen Gestalt der Bogenlinien der verschiedenen Zwischenrippen ist unter steter Benutzung des erzeugenden Knickbogens auf bekanntem Wege vorzunehmen.

Die Ermittlung der Normalschnitte und der zugehörigen Kappenfalze p , welche der gewählten Art der Einwölbung zu entsprechen haben, kann für irgend einen Rippenkörper A nach dem in Art. 301 bis 308 (S. 435 bis 449) Gefagten leicht bewirkt werden.

Eine Umformung, aber gleichzeitig auch eine etwas gekünstelte Gestaltung des Fächergewölbes ergibt sich, sobald die nach einer gegebenen, unveränderlichen Erzeugenden gleichförmig gebildeten, strahlenförmig sich erhebenden Rippen mit ihrem oberen Ende gegen wagrecht liegende, nach Viertelkreifen gekrümmte Abchlufsrippen gesetzt werden.

Diese Gewölbebildung, welche in der spätesten Zeit der Gothik entstand und ab und an noch Verwendung findet, ist in Fig. 543 dargestellt.

Die Erzeugende D gilt für alle Rippen des Fächergewölbes. Die nach Viertelkreifen geformten, wagrechten Abchlufsrippen ab , ac , eb , ec umschließen ein größeres Zwickelfeld $abce$, das durch eine die Abchlufsrippen mit verspannende

gebogene Stücke β , bzw. α . Diese sind alsdann durch gerade ansteigende Linien tu , uv oder durch mäfsig nach oben gebogene Kreislinien zu ersetzen.

Die Scheitellinie der Ebene lm wird als Wellenlinie xy , yx mittels des erzeugenden Knickbogens, wie bei der Scheitellinie über fl gezeigt ist, ermittelt.

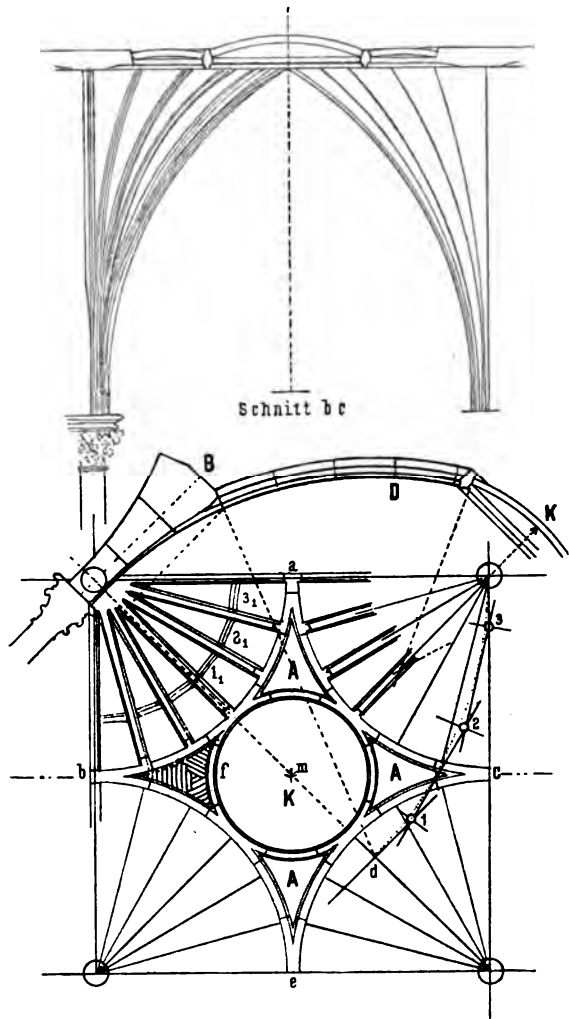
Sollen in der Nähe des Scheitels in das strahlenförmige Rippenystem noch Zwischenrippen ih , $i1$, $i2$ u. f. f. eingefügt werden, so geht man zweckmäfsig mit diesem Einfügen von einem Punkte h , des längsten Rippenstrahles aus.

In der Zeichnung ist zunächst h, l im Punkte r halbiert. Die Gerade ir ist die Grundriss-Projection einer Zwischenrippe. Eben so wird

Kranzrippe f in kleinere dreieckförmige Nebenzwickel A und eine Kreisfläche K zerlegt wird. Die Einwölbung der Gewölbfache r_1, z_1 u. f. f. kann nach Kugelflächen stattfinden, deren Mittelpunkte r, z u. f. f. nach den in Art. 285 (S. 413) gemachten Angaben zu bestimmen sind. Die Gewölbzwickel A können durch Steinplatten oder durch ganz flache Kappengewölbe oder Klostergewölbe geschlossen werden, während die Kreisfläche m , der fog. Spiegel, meistens mit einem flachen, tellerförmigen Kugelgewölbe überdeckt wird.

Das eigentliche Fächergewölbe und das umgeformte Fächergewölbe gestatten eine äußerst reiche, selbst üppige Durchbildung, welche fogar an das Phantastische herantreten kann. In keinem Falle darf aber die Fülle der Formen die grundlegenden, dem Gewölbebau streng entsprechenden Constructionsregeln in den Hintergrund drängen, damit Gestaltung und Ausführung der Fächergewölbe nicht in eine Spielerei ausarten. Durch geeigneten Farbenschmuck kann den Fächergewölben ein erhöhter Reiz verliehen werden.

Fig 543.



b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager.

347.
Gewölbstärke.

Das Rippenystem der Fächergewölbe entspricht im Wesentlichen demjenigen des Sterngewölbes und damit auch demjenigen des gothischen Kreuzgewölbes. Eben so sind die Einwölbungen der Gewölbfache bei den Fächergewölben in der Form im Allgemeinen als bußige Kappen, wie bei den genannten Kreuzgewölben, zu behandeln.

Aus diesem Grunde gelten alle diejenigen Untersuchungen, welche zur Prüfung der Stabilität und zur Bestimmung der Stärke der Rippen und Kappen für die bezeichneten Kreuzgewölbe in Art. 314 bis 330 (S. 460 bis 481) näher besprochen sind, auch für die Fächergewölbe.

348.
Widerlags-
stärke.

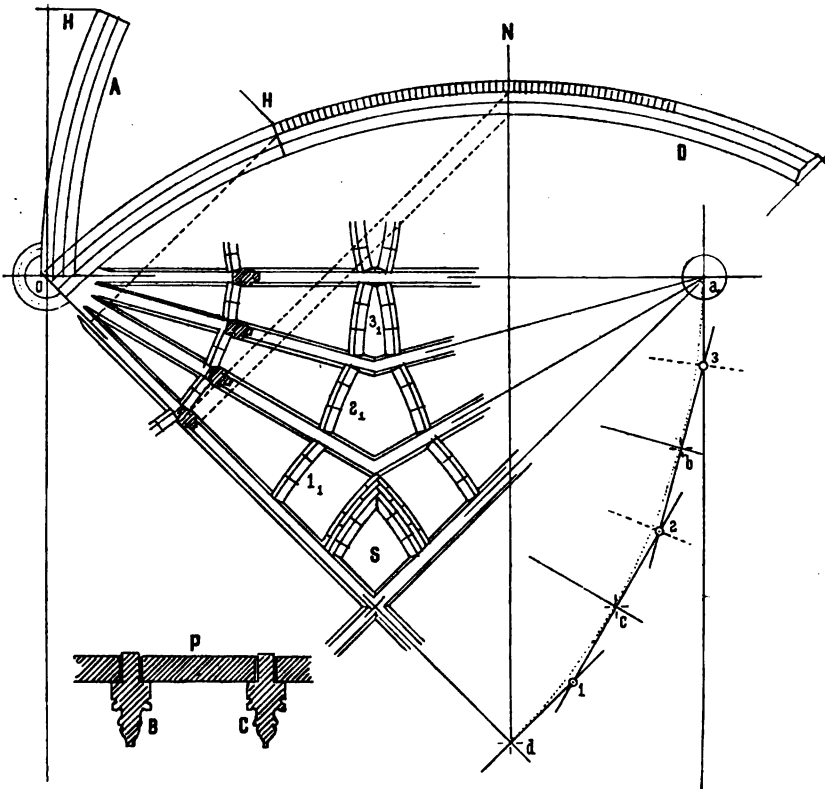
Auch für die Ermittlung der Stärke der Widerlager der Fächergewölbe kommen wiederum alle in dieser Beziehung bei den gothischen Kreuzgewölben in Art. 332 bis 338 (S. 481 bis 488) behandelten Punkte ohne Weiteres zur Geltung.

c) Ausführung der Fächergewölbe.

Die sämtlichen Vorschriften und Mafnahmen, welche in Art. 339 bis 341 (S. 489 bis 495) für die Ausführung der gothischen Kreuzgewölbe hinsichtlich der Herstellung der Kappen und der Anfertigung, bezw. Aufstellung der Rippen mitgeteilt sind, werden auch bei der Ausführung der eigentlichen Fächergewölbe innegehalten. Die Rippen werden durch Lehrbogen unterstützt. Die Kappen, welche bei den einer fremden Belastung meistens nicht ausgesetzten Fächergewölben gewöhnlich nur $\frac{1}{2}$ Backstein stark ausgeführt werden, sind freihändig mit Bufung unter Verwendung gut bindenden Mörtels zu mauern.

349-
Gewölbe-
kappen.

Fig. 544.



In Fig. 544 sind die Grundriss-Projectionen einiger Wölbfschichten der Kappen, welche hier eine Bufung nach reinen Kugelflächen mit den Mittelpunkten $1, 2, 3$ und dem Kugelhalbmesser do der Erzeugenden D der Rippenkörper erhalten haben, gegeben. Hiernach ist $od = oc = ob$. Die in d auf od und in c auf oc u. f. f. errichteten Lothe liefern in ihren Schnitten $1, 2$ u. f. f. jene Kugelmittelpunkte der einzelnen Gewölbfsache $1_1, 2_1, 3_1$. Nach der an der Rippe D vorgenommenen Theilung der Wölbfschichten und Anordnung der Lagerflächen in der radialen Richtung dN ergeben sich sofort die nöthigen Anhaltspunkte für die Darstellung der Wölbfschichten im Grundriss. In den Scheitellinien der einzelnen Gewölbfsache treten die Wölbfschichten auf Schwalbenschwanz-Verband, wie bei S sich zeigt, zusammen.

Sollen die Gewölbfläche unverputzt bleiben oder gar in verschieden gefärbten Backsteinen als Schmuck besondere Muster erhalten, so ist stets eine sorgfältig angefertigte Zeichnung dieser Wölbschichten der Ausführung zu Grunde zu legen.

Tritt bei kleinen Gewölbflächen statt der Wölbung eine Plattendeckung p ein, so erhalten die tragenden Rippenkörper A, C bei einer hinlänglichen Stärke entsprechend tiefe, 5 bis 8 cm breite Falze. Die meistens nur schmalen Platten sind sorgsam in Mörtel zu verketten.

350.
Rippen.

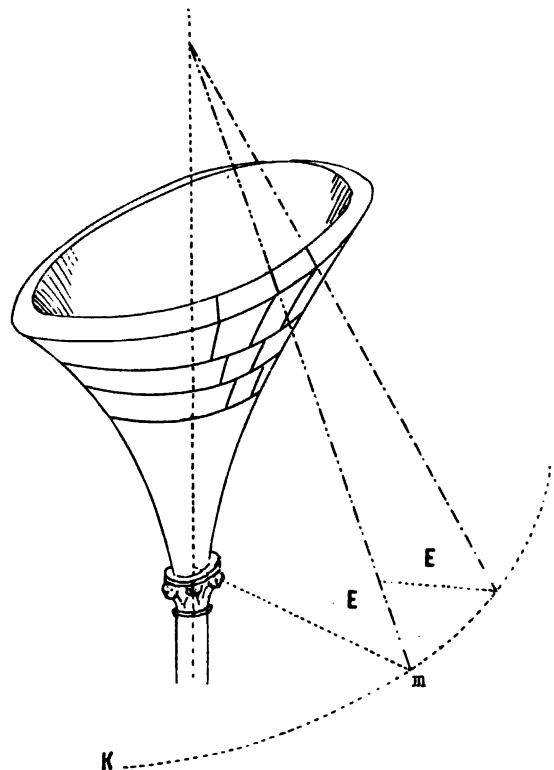
Die Rippen der Fächergewölbe können aus Backstein oder Haufstein hergestellt werden. Zweckmäßig werden die Kämpferstücke A (Fig. 544) der über den Wand- oder Zwischenstützen zusammentretenden, sich vielfach hier abzweigenden Rippen bis zu einer Höhe H , in welcher eine regelrechte Kappenwölbung beginnen kann, selbst für Backsteinrippen aus Quadern in einem Stücke oder aus mehreren, durch wagrechte Lagerfugen getrennten Schichten angefertigt.

Bei den Abfluß- und den Kranzrippen der Spiegel des in Art. 346 (S. 499) beschriebenen umgeformten Fächergewölbes muß, wie in Fig. 543 bereits mit angegeben ist, auf einen Fugenschnitt dieser Rippen Bedacht genommen werden, welcher, bei Vermeidung zu großer Einzelstücke, ihre möglichst gute Verspannung unter sich und mit den Endstücken der Fächerrippen zu bewirken vermag.

351.
Gewölbe
ohne
Rippen.

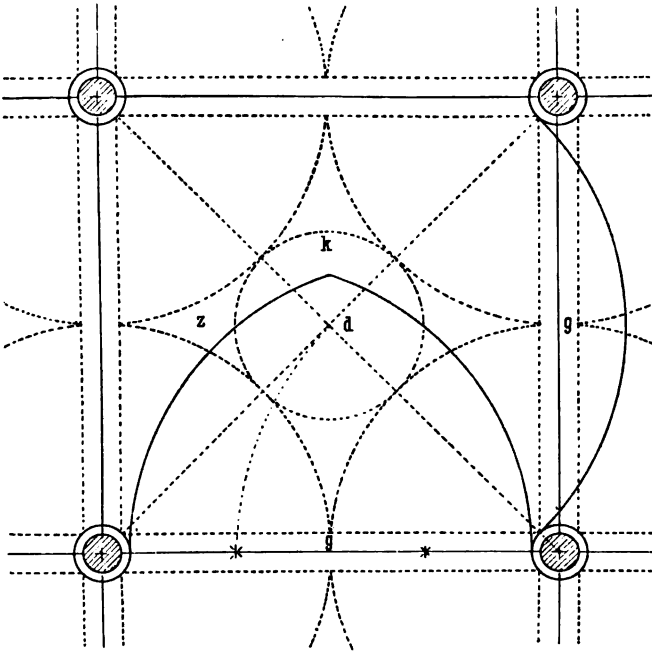
Führt man für den Gewölbkörper ein selbständiges Rippenwerk nicht aus, läßt man vielmehr die Laibungsfläche des Gewölbes ausschließlich als Umdrehungsfläche bestehen und wird hiernach das Gewölbe gleichsam als eine massive, trichterförmig nach oben sich ausbreitende Schale gemauert, so entsteht das eigentliche Trichtergewölbe. Im Ziegel-Rohbau lassen sich solche Gewölbe ziemlich leicht herstellen. Die wirkliche, auf strengen Regeln des Gewölbebaues beruhende Bildung und Ausführung der an und für sich beachtenswerthen Fächergewölbe, bei welchen das schön und fachgemäß geordnete Rippen-system die Hauptrolle übernimmt, um als Gruppe von Tragkörpern für die mit Bufung ausgeführten Kappenwölbungen dienen zu können, wird bei den Trichtergewölben jedoch zu sehr in den Hintergrund gedrängt. Gehören auch die Lagerflächen des Gewölbkörpers in Rücksicht auf die jedesmalige Umdrehungsaxe geraden Kegelflächen an, deren gemeinschaftliche Basis in der wagrechten Kämpferebene als der Kreis K (Fig. 545) auftritt, welchen der Mittelpunkt m bei der Drehung der Erzeugenden der Trichterfläche beschreibt, so liegen andererseits die Stofsflächen der Wölbschichten in lothrechten Ebenen E , welche sich sämmtlich in

Fig. 545.



der Umdrehungsaxe schneiden. Die Lagerkanten zwischen den Stofsflächen müssen demnach an der Seite des Steines, welche der Umdrehungsaxe zugekehrt ist, kürzer sein, als an der in der Laibungsfläche des Trichterkörpers liegenden Seite, so daß ein Abrutschen der Steine der einzelnen Wölbflächen auf den nach innen geneigten Lagerflächen leicht eintreten kann. Die durch die Gestaltung des Wölbkörpers geforderte Anordnung der Stofsflächen entspricht aber nicht dem wahren Gefüge und dem inneren Wesen des Gewölbebaues. Um das Abrutschen der Wölbsteine zu verhindern, ist die Anwendung eines stark bindenden Mörtels, nicht allein für die Vermauerung der Steine der Trichterstücke, sondern auch für den Wölbkörper der zwischen den Trichtern liegenden Spiegel, geboten, so daß im Allgemeinen das sorgsam herbeigeführte Festkleben der Steine durch Mörtel vorherrschend ist. Aus diesem Grunde nähern sich derart ausgeführte Trichter-

Fig. 546.



gewölbe den sog. Fußgewölben. Der Fuß der einzelnen Trichterstücke wird in wagrechten, nach und nach vorgekragten Schichten, zweckmäßig in sog. Rollschichten, in solcher Höhe ausgeführt, bis eine ausreichende Lagerfläche für die ringförmigen oberen Wölbflächen entstanden ist. Statt dieses aus Backstein gemauerten Anfängers ist besser ein Anfänger aus Quadern zu verwenden.

Bei der Mauerung der Gewölbe, welche selten eine Spannweite über 4 m in den einzelnen Abtheilungen erhalten und meistens nur als Ziergewölbe ohne weitere fremde Belastung

gelten, werden nur leichte, einfache Lehrbogen an den Seiten und in der Richtung der Diagonalen der zugehörigen Abtheilungen aufgestellt. Diese Hilfsbogen und eine nach der Erzeugenden der Umdrehungsfläche begrenzte, drehbare Brettschablone ermöglichen das Innenhalten der Gewölbeform. Die Stärke dieser Gewölbe ist meistens gleich $\frac{1}{2}$ Backstein.

Die eben besprochene Herstellung der Trichtergewölbe wird hinsichtlich ihrer Standfähigkeit einigermaßen durch Gurtbogen *g* (Fig. 546), welche die Abtheilungen der Gewölbe an den Seiten begrenzen, verbessert. Außerdem ist die Einwölbung des Kranzes *k* im Spiegel und die Ausführung der Zwickelgewölbe *z* mit kleinen, bußigen Kappen, so wie der Schluß innerhalb des Kranzes mit einem ganz flachen Kugelgewölbe rathsam. Eine weitere Verbesserung kann, namentlich bei Gewölben über 4 m Spannweite, noch durch Hinzufügen von Gurtbogen in der Richtung der Diagonalen *d* der Abtheilungen herbeigeführt werden. Die einzelnen Gurtbogen

erhalten zur Aufnahme der Wölfschichten die in Fig. 450, II (S. 387) bereits angegebene Verzahnung.

Die Laibungsflächen dieser Gewölbe werden geputzt, häufig cannelirt, auch entsprechend mit Stuck oder Malerei geschmückt. Die in Folge der Richtung der Stofsugen bestehenden Mängel ihrer Construction werden hierdurch wohl verschleiert, aber nicht beseitigt.

16. Kapitel.

Kuppelgewölbe.

a) Gestaltung der Kuppelgewölbe.

352.
Form.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ist eine Umdrehungsfläche. Dieselbe kann in ihrer einfachsten Form durch Drehung einer gesetzmäßig gebildeten ebenen Curve um eine ihrer Ebene angehörende, feste, lothrecht stehende Axe erzeugt werden, welcher sie bei der Drehung stets ihre concave Seite zuwendet. Jeder Punkt der erzeugenden Curve beschreibt nach vollendeter Drehung einen in wagrechter Ebene liegenden Kreis. Der Grundriß der hiernach gestalteten Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ist also gleichfalls ein Kreis.

Diese einfachste Entwicklung der Form einer Kuppelgewölbfäche ist in Fig. 547 mit der erzeugenden Curve C , der festen lothrechten Axe A , dem Grundrißkreise K und einer beliebigen sog. Ringlinie R zur Anschauung gebracht. In der Regel besitzt die als Erzeugende gewählte Curve in ihrem Fußpunkte eine lothrechte Tangente.

Ist diese Curve ein Viertelkreis, so entsteht für die Laibung des Kuppelgewölbes eine Halbkugelfläche. Als dann heisst das Kuppelgewölbe auch Kugelgewölbe.

Die erzeugende Curve, schlank oder weniger schlank aufsteigend, kann ein Kreisbogen, eine Viertelellipse, ein Korbbogen, eine Parabel u. f. f. sein. Je nach der Wahl derartiger Erzeugenden ist die mehr oder weniger zum kräftigen Ausdruck zu bringende Form der Laibungsfläche der Kuppelgewölbe zu gestalten.

Bedingt die angegebene Weise der Erzeugung der Kuppelgewölbfäche einen Kreis als Grundriß, so läßt sich doch selbst bei elliptischem Grundriße die Laibung des sog. elliptischen Kuppelgewölbes nach Fig. 548 durch Drehung der halben Ellipse abc um die große, in wagrechter Ebene liegende

Fig. 547.

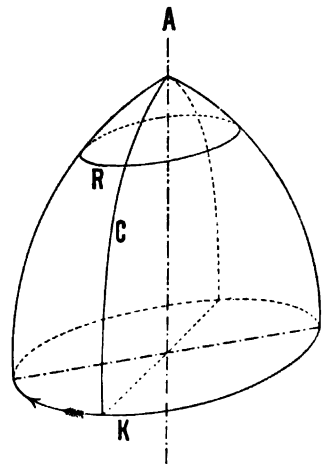
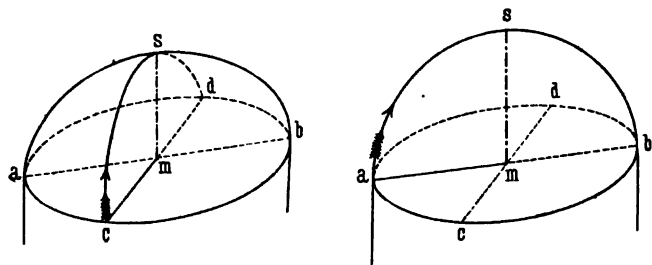


Fig. 548.

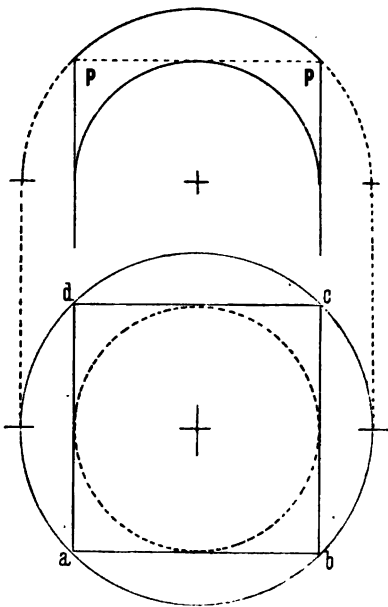


Axe ab oder auch durch Drehung der halben Ellipse cda um die zugehörige kleine Axe cd ebenfalls leicht erzeugen. In ersterem Falle giebt jede rechtwinkelig zu ab stehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt, während jede lothrechte, parallel zu ab stehende Ebene die Laibungsfläche nach halben Ellipsen schneidet. Entsprechend würden derartige Schnitte von Ebenen bei der zweiten angegebenen Erzeugungsart der Gewölbfläche zu bestimmen sein. Hier giebt jede rechtwinkelig zu cd stehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt.

Durch die beschriebenen Gestaltungen der Kuppelgewölbflächen ist jedoch die Ausbildung der Kuppelgewölbe über kreisrunden oder elliptischen Grundrissen allein keineswegs beschränkt.

Mögen die Kuppelgewölbe in frühester Zeit, abgesehen jedoch von der Ausführung in der Deckenbildung selbst, vorwiegend über Räumen mit reinem Kreisgrundrissen hergestellt sein, weil diese Anordnung naturgemäfs am nächsten lag, so

Fig. 549.



zeigt sich beim Verfolgen des Weges, welchen die Entwicklung des Gewölbebaues eingeschlagen hat, sehr bald die Spur, welche darauf hinweist, Kuppelgewölbe über zehneckigen, achteckigen, also vieleckigen, und weiter über quadratischen Grundrissen in Anwendung zu bringen.

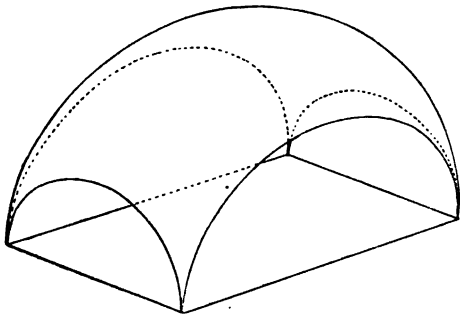
Baugeschichtliche Anhaltspunkte hierfür sind in Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« geboten.

Besondere, nach verschiedenen Seiten sich geltend machende Systeme in der Gestaltung der Kuppelgewölbe werden im Allgemeinen durch die quadratische Grundriffsform veranlaßt.

Bleibt zuerst die Umdrehungsfläche als Laibungsfläche des Kuppelgewölbes bestehen, wie solches einem Kreisgrundriss angehören würde, so geht der Grundkreis dieser Kuppelfläche (Fig. 549) durch die Ecken a, b, c, d des quadratischen Grundrisses. In den Seiten ab, bc u. f. f. aufgestellte lothrechte Ebenen schneiden von der Gewölbfläche genau bestimmbare Stücke ab, so daß die Fußpunkte a, b, c, d der Kuppel die Anfänge von Kuppelzwickeln P ,

Pendentifs genannt, sind, welche seitlich durch die Schnittlinien der Ebenen ab, bc u. f. f. begrenzt werden. Diese Schnittlinien bilden die Stirnbogen der Kuppel-

Fig. 550.



gewölbfläche. Hierdurch entsteht das System der sog. einfachen Stutzkuppel oder Hängeskuppel. Im Besonderen kann die Gestaltung derartiger Stutzkuppeln auch über rechteckigen Grundrissen (Fig. 550) oder über vieleckigen Grundrissen, deren Ecken dann aber zweckmäfsig, zur Vermeidung ungleicher Höhenlage der Fußpunkte der Kuppelzwickel, im Grundkreise der Kuppelflächen liegen, Platz greifen.

Müssen die Fußpunkte der Kuppelzwickel

353.
Stutz- oder
Hängeskuppel:
Erstes
System.

in besonderen, von der Grundrissbildung der zu überdeckenden Räume abhängigen Fällen eine ungleiche Höhenlage erhalten, so ist die Gestaltung der Kuppelgewölbläche mit Pendentifs füglich doch bei jedem beliebig begrenzten Grundrisse möglich, wenn nur der in der Ebene der Grundrissfigur liegende Grundkreis der Kuppelfläche im Allgemeinen die Grundrissfläche des Raumes umzieht.

354.
Zweites
System.

Geht man wiederum von einem quadratischen Grundrisse aus, so erfolgt ein zweites System der Gestaltung der Hängekuppel, sobald über einer Kuppelfläche *P* (Fig. 551), deren Grundkreis *bcd* dem Quadrat umschrieben ist und welche dabei in ihrer Laibung die Kuppelzwickel *P* allein liefert, noch eine zweite Kuppelfläche *K* gebildet wird, deren Grundkreis den eingeschriebenen Kreis des Quadrats als wagrechte Projection besitzt.

Bei der Annahme der Kuppelflächen als Kugelflächen ist in Fig. 552 die zeichnerische Durchbildung dieses zweiten Systems der Gestaltung der Hängekuppel über einem quadratischen Grundrisse näher angegeben. Das Kreisstück *G* kennzeichnet den umschriebenen, für die Gestaltung der Pendentifs *P* der unteren Kuppelfläche maßgebenden Grundkreis, während das Kreisstück *B*, dem eingeschriebenen Kreise angehörend, die wagrechte Projection des Grundkreises der aufgesetzten Kuppelfläche bedingt.

Will man statt der Kugelflächen *P* und *K* andere, gefetzmäßig gestaltete und in günstiger Form auftretende Umdrehungsflächen als Kuppelgewölblächen anwenden, so bleiben die Grund-

Fig. 551.

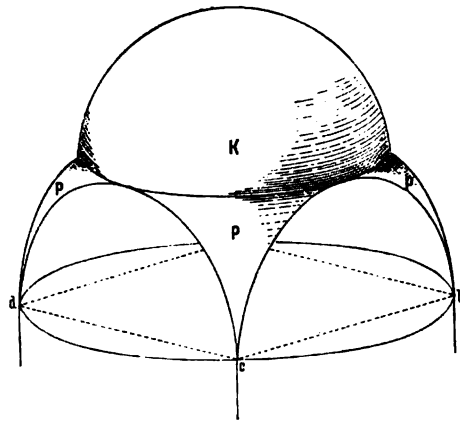


Fig. 552.

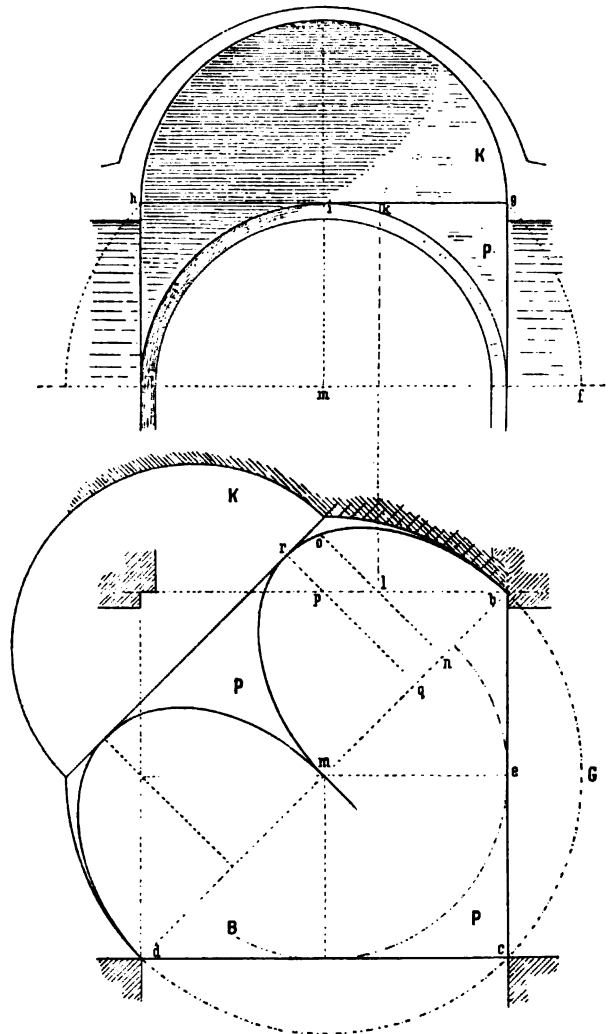
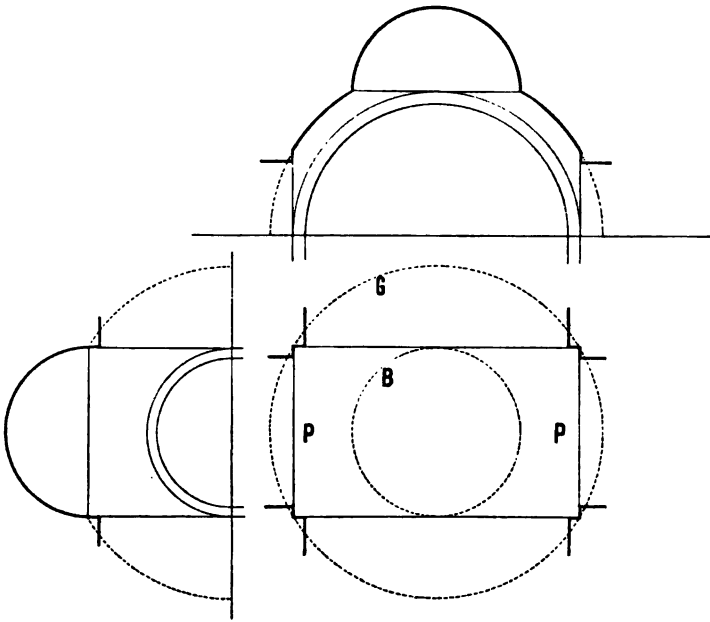


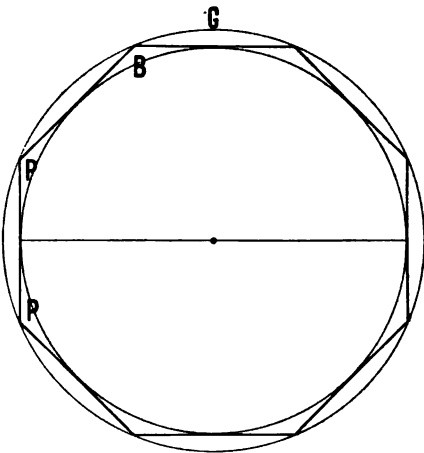
Fig. 553.



beiden langen Seiten der Grundrissbegrenzung durch Verkleinerung seines Halbmessers Abstand genommen werden.

Wird zwischen dem unteren, die Pendentifs enthaltenden Theile der Hängekuppel und der oberen aufgesetzten Kuppelfläche noch eine lothrechte cylindrische Gewölbfläche *T*, Trommel oder Tambour genannt (Fig. 555), eingefügt, welcher der Grundkreis *B* als Leitlinie zugewiesen wird, so entsteht das System der sog. Hängekuppel mit Tambour.

Fig. 554.



Abchluss des Kuppelgewölbes. Die Ringschicht, welche diese Oeffnung begrenzt, heisst Lichtkranz, Lichtring, auch Schlufsring. Die Oeffnung selbst, in irgend einer Weise als Deckenlicht verwerthet, gestattet die Beleuchtung der Kuppel durch Tageslicht in nicht zu unterschätzender Weise.

Benutzt man den Lichtkranz als Träger eines besonderen, in einfacher oder reicher Art ausgeführten, mit Lichtöffnungen versehenen Kuppelaufsatzes *L*, Laterne genannt, so entsteht das Kuppelgewölbe mit Laterne (Fig. 555).

kreise *G* und *B* unverändert bestehen.

Dieses zweite System der Gestaltung der Hängekuppel kann unter entsprechender Beachtung und Einfügung der Grundkreise *G* und *B* auch über rechteckigen Grundrissen (Fig. 553) oder mehrseitigen regelmäßigen Grundrissen (Fig. 554) zur Durchführung gelangen. Zahl und Form der hierbei auftretenden Pendentifs *P* sind sofort zu erkennen. Beim Festlegen des Grundkreises *B* kann auch selbst von seiner Berührung mit den

355.
Drittes
System.

In der Regel werden in dem Tambour, dessen Höhe, der architektonischen Durchbildung der gesammten Kuppelanlage gemäß, sehr verschieden ausfallen kann, Lichtöffnungen zur Erhellung der Kuppel durch Tageslicht angebracht.

Die bei den Kuppelgewölben ganz besonders beachtenswerthe Einwölbungsart nach concentrischen Ringschichten, worauf bereits in Art. 315 (S. 460) näher hingewiesen ist, gestattet die Schaffung einer freien Oeffnung als

356.
Lichtring.

Die Krönungen der Kuppeln, mögen dieselben in der Formgebung der äußeren Umrahmungen der Lichtkränze oder in der Ausbildung des Baukörpers der Laternen ihren Ausklang finden, geben in Verbindung mit einer glücklichen Wahl der eigentlichen Bogenlinie der Kuppelfläche belangreiche Grundlagen für die würdige und hervorragende äußere Gestaltung bedeutungsvoller Bauwerke.

Die Erkenntnis dieser Grundlagen und ganz besonders die Einfachheit der praktischen Ausführbarkeit der Kuppelgewölbe gaben Veranlassung, diese Gewölbe als »Groß-Constructionen« ersten Ranges einzuführen. Durch die bei Kuppelgewölben sich geltend machenden, im Allgemeinen günstig zu nennenden statischen Verhältnisse zwischen Wölb- und Widerlagkörper fand das Bestreben, selbst in kühner Weise Kuppelbauten zu errichten, an und für sich die kräftigste Unterstützung.

357.
Stichkappen.

Sollen im eigentlichen Kuppelgewölbe Lichtöffnungen angebracht werden oder reichen die oberen Abschlußbogen von Fenster- bzw. Thüröffnungen über den Fuß des Kuppelgewölbes hinauf, so werden für diese Anlagen wieder die fog. Stichkappen erforderlich. In den meisten Fällen gehören die Laibungen der Stichkappen Kegelflächen an, deren Axen nach dem Mittelpunkte des Grundkreises der mit Stichkappen zu versehenen Kuppelflächen gehen. Hierbei ist jedoch die Wahl einer Cylinder- oder Kugelfläche für die Laibungen der Stichkappen durchaus nicht ausgeschlossen.

Das über die Ausmittlung der Stichkappen beim Tonnengewölbe in Art. 164 bis 167 (S. 235 bis 243) Gefagte bleibt im Wesentlichen auch beim Kuppelgewölbe geltend.

Eben so bleiben auch hier die sämtlichen Gesichtspunkte, welche beim Klostergewölbe in Art. 206 (S. 306), bzw. in Art. 207 (S. 307) für die Bildung der Stichkappen oder Lunetten aufgestellt sind, ihrem eigentlichen Inhalte nach bestehen.

Vollständig ringförmige Stichkappen, fog. Ochsenaugen, entstehen bei der Durchdringung von Kegelflächen, bzw. Cylinderflächen mit der Kuppelgewölbfäche. Meistens werden Kegelflächen gewählt. Die Leitlinie der Kegelflächen kann ein Kreis oder eine Ellipse sein. Die Kegelaxen sind wiederum zweckmäßig nach dem Mittelpunkte der zu durchdringenden Kuppelfläche gerichtet. Die Spitzen der Kegelflächen der runden Stichkappen liegen in entsprechender Entfernung oberhalb der Rückenfläche des Kuppelgewölbes.

Die Ausmittlung dieser ringförmigen Stichkappen erfolgt durch die an und für sich einfache Bestimmung der Schnittlinien der Kegelflächen mit der Kuppel-

Fig. 555.

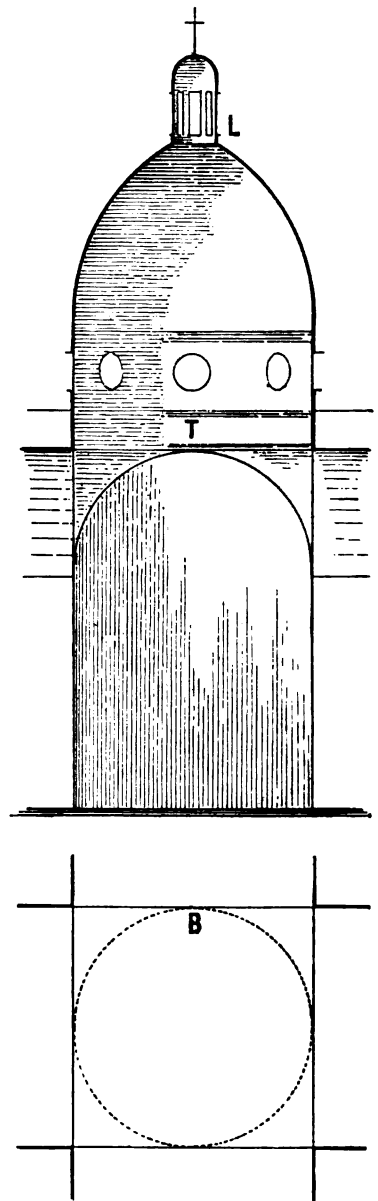
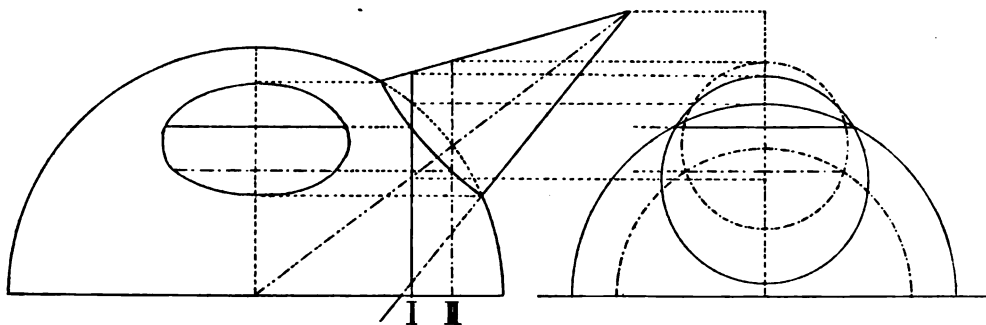


Fig. 556.



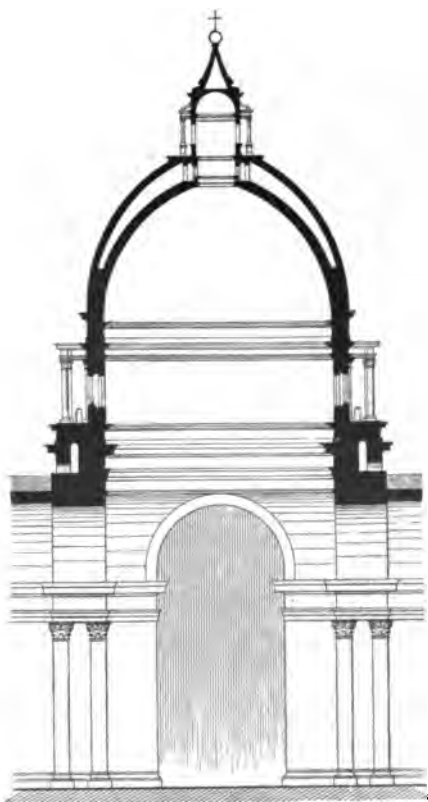
fläche. Die Anleitung zu dieser Bestimmung giebt Fig. 556, wobei für das Hauptgewölbe eine Kugelfläche, für die Laibung der runden Stichkappe eine Kegelfläche, deren Schnitte durch die lothrechten Ebenen *I*, *II* u. s. f. Kreise werden sollen, angenommen ist.

Die Ermittlungen der inneren Begrenzungen und die damit in Verbindung stehenden allgemeinen Gestaltungen des Ochsenauges bieten auch bei anderen Laibungsflächen des Gewölbes und der Stichkappen keine Schwierigkeiten. Die geschaffene Lichtöffnung wird durch einen im Kuppelgewölbe liegenden Wölbkranz umrahmt.

Erheben sich über einem gemeinschaftlichen Grundrisse zwei in geringerer oder größerer Entfernung über einander liegende selbständige Kuppelgewölbe mit von einander verschiedenen Umdrehungsflächen, so entstehen die sog. Doppelkuppeln. Ihre Bestandtheile sind das gemeinschaftliche Widerlager, die innere Kuppel und die äußere Kuppel oder die Schutzkuppel. Letztere bildet gleichsam das Dach, um schädliche Witterungseinflüsse vom inneren Kuppelgewölbe fern zu halten. In der Regel treten beide Kuppelgewölbe in geringer Höhe über ihrem Widerlager zu einem gemeinschaftlichen Gewölbstücke zusammen und zweigen sich erst von diesem Fufskörper aus nach oben hin von einander ab.

358.
Doppel-
kuppel.

Fig. 557.



Ein hervorragendes Bauwerk einer Doppelkuppel mit Pendentifs, Tambour und Laterne ist die bekannte Kuppel der *Peters-Kirche* in Rom (Fig. 557). Die gleichfalls berühmte Doppelkuppel des Domes zu Florenz ist ihrer Gestaltung nach, wie aus dem in Art. 204 (S. 302) Gefagten näher gefolgert werden kann, als eine dem Kloftergewölbe angehörende Haubenkuppel oder Walmkuppel mit Tambour und Laterne anzusehen.

Ist die Erzeugende der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes irgend ein Flachbogen *ab* (Fig. 558), so entsteht die einfache Flach-

359.
Flachkuppel.

kuppel, welche später als fog. böhmisches Kappengewölbe noch einer näheren Besprechung zu unterziehen ist.

Der Grundkreis *G* der Flachkuppel geht bei quadratischer, rechteckiger oder vieleckiger Grundrissbildung durch die Ecken der Grundrissfigur. Nach dem Feststellen der Laibungsfläche der Flachkuppel ist das Austragen ihrer Anschlußlinien, d. h. der Stirnlinien der Flachkuppel, so weit dieselben für die Seitenebenen des zu überdeckenden Raumes in Betracht kommen, leicht zu bewirken. Setzt man eine Flachkuppel *F* auf Pendentifs *P* (Fig. 559), so tritt in der fog. Flachkuppel mit

Fig. 558.

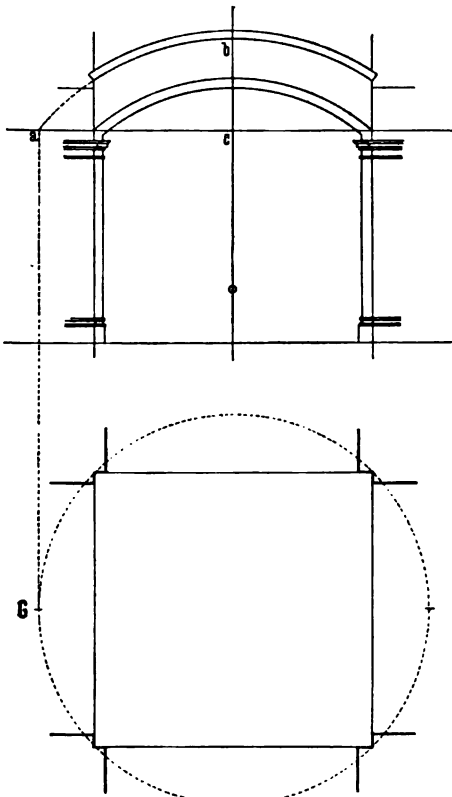
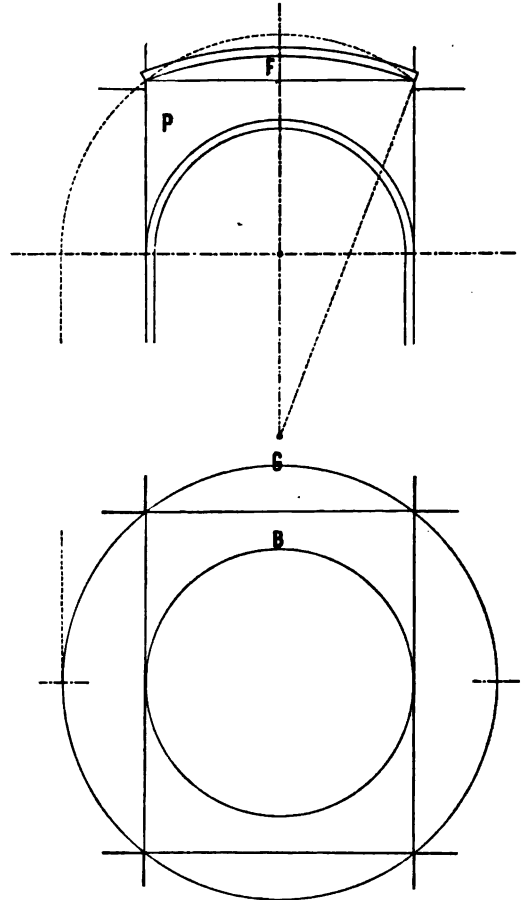


Fig. 559.



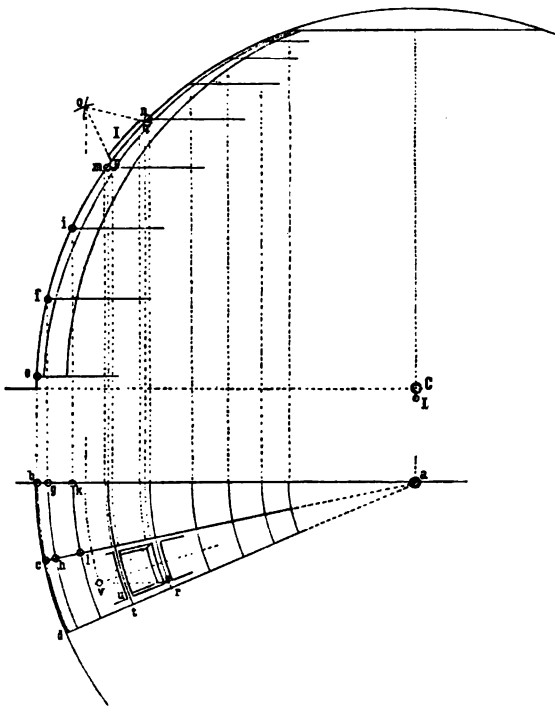
Pendentifs nur eine geringe Umgestaltung des in Art. 354 (S. 506) bezeichneten zweiten Systems der Hängekuppel ein. Die Kuppelfläche mit den Pendentifs *P* besitzt neben ihrem besonderen Grundkreise *G* eine andere Erzeugende, als die Flachkuppel mit dem selbständigen Grundkreise *B*. Dieser liegt stets innerhalb der Grundrissfläche des zu überwölbenden Raumes, berührt dabei ihre Seiten oder erhält einen gröfseren oder geringeren Abstand von denselben.

Die häufig sehr niedrig gehaltene, tellerförmig gestaltete Flachkuppel (Teller, Nabel, Calotte) wird oft vortheilhaft von den Pendentifs der Unterkuppel durch ein ringförmig geführtes Gesims getrennt.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes kann in mannigfaltigster Weise durch Malerei, Stuck, vortretende Rippen u. s. w. verziert werden. Vielfach erfolgen Ausstattung und Gliederung der Laibung der Kuppelgewölbe durch die schon beim Tonnengewölbe in Art. 163 (S. 234) erwähnten Cassetten. Dieselben können mit ihren Stegen die wechselvollsten Formen annehmen, dabei besonders geordnete, neben einander liegende oder mit einander verschlungene Felder bilden und in mancherlei Weise mit Gliederungen, Rosetten, Arabesken, figürlichen Darstellungen in einfacher oder reicher Ausstattung versehen werden. In der Nähe des Scheitels des Kuppelgewölbes läßt man zur Vermeidung der hier zu klein erscheinenden Cassetten den sog. Spiegel oder Nabel der Kuppel meistens

360.
Cassettirte
Kuppel-
gewölbe.

Fig. 560.



ohne Cassettentheilung. Je nachdem der Scheitel des Gewölbes mit einem Deckenlicht versehen wird oder seine ursprüngliche Gewölbebildung behält, ist eine entsprechende Ausschmückung des Gewölbspiegels vorzunehmen.

Für die Anordnung der Cassetten sollen einige Grundlagen mitgeteilt werden, welche im Allgemeinen die möglichste Einfachheit bewahren.

361.
Cassetten-
Anordnung:
I.
Verfahren.

Das zeichnerische Ausmitteln der Cassetten mit den trennenden Stegen kann nach Fig. 560 auf folgendem, sehr einfachem Wege vorgenommen werden.

Auf dem Grundkreise oder der Kämpferlinie bd der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes bestimmt man gleiche Theilweiten bc, cd u. s. f. und setzt die nach den Theilpunkten b, c, d u. s. f. gezogenen Halbmesser ab, ac, ad u. s. f. als wagrechte Projectionen der Mittellinien der nach dem Scheitel der Kuppel aufsteigenden Stege fest. Soll den Cassetten eine nahezu quadratische Form gegeben werden, so trägt man auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um C beschriebener Viertelkreis

mit dem Halbmesser ab gewählt, zugleich die lothrechte Projection der Mittellinie des Stegs ab ist, unter Beachtung einer passenden Entfernung über die Kämpferebene des Gewölbes, z. B. von e aus, die Theilweite bc des Grundkreises bd als ef ab. Hierauf ermittelt man die Grundriss-Projection des Punktes f auf ab in g und beschreibt um a mit dem Halbmesser ag einen Kreis. Derselbe giebt die Grundriss-Projection der Mittellinie des ersten, concentrisch mit der Kämpferlinie der Kuppel ziehenden Cassettensteiges. Seine Schnitte g, h mit den Steglinien ab, ac u. s. f. find die oberen Eckpunkte der Theilriffe der ersten Cassettenreihe. Die unteren Eckpunkte der Theilriffe dieser Reihe erhält man nach Ermitteln der Grundriss-Projection des Punktes e auf ab . Die Schnitte des Kreises, welcher durch diese Grundriss-Projection bestimmt und in der Zeichnung punktirt dargestellt ist, mit den Geraden ab, ac u. s. f., find die gesuchten Endpunkte.

Liegt bei einer sog. Ueberhöhung der Kuppel die Kämpferebene unter C , so erhält die Cassettenanlage in Folge der günstigen Annahme des Punktes e in zweckmäßiger Weise einen entsprechend hohen Sockel. Hierdurch ist selbst bei einem kräftig ausladenden Kämpfergesims die untere Cassettenreihe noch deutlich und vollständig vom Fußboden des überwölbten Raumes aus zu erkennen.

Für die Theillinien der zweiten Cassettenreihe wird die Weite $gh = fi$ auf der Erzeugenden abgetragen und nunmehr wiederum ganz im Sinne des für das Ausmitteln des ersten Cassettenzuges Gesagten verfahren. Auf dem beschriebenen Wege erhält man nach und nach die sämtlichen Netzlilien für die Cassetten.

Sollen über Ecke gestellte oder vieleckig begrenzte Cassetten angewendet werden, so kann das soeben besprochene Netz als Hauptnetz für das Einzeichnen der Theillinien beliebig geformter Cassetten leicht benutzt werden.

Die Stege zwischen den aufsteigenden Cassettenreihen treten vom Cassettensockel bis zum Kuppel Spiegel mit stetig verjüngter Breite auf. Ihre Grenzlinien sind Meridianbogen der Kuppelfläche. Setzt man die gewünschte Breite dieser Stege unter Beachtung der Mittellinien des Hauptnetzes im Grundrisse am Sockel der Cassettenreihen fest, so ergeben sich durch Ziehen der zugehörigen Halbmesser die wagrechten Projectionen der Seitenlinien, wie z. B. su , der aufsteigenden Stege.

Die Breite der sämtlichen Querstege der Cassetten wird in der Grundriss-Projection meistens gleich groß genommen. In der Aufriss-Projection zeigen sich diese Querstege dann in Abschnitten auf der Erzeugenden vom Sockel der Cassettenanlage bis zum Spiegel der Kuppel in verjüngter Breite.

Die zeichnerische Darstellung der Stege ist aus Fig. 560 ohne Weiteres zu entnehmen. Die Cassetten sollen Vertiefungen im Kuppelgewölbe bilden. Zweckmäßig ist die Vertiefung bei den größeren Cassetten beträchtlicher, als bei den stetig kleiner werdenden Cassetten. Zum Herbeiführen einer möglichst gesetzmäßig und nicht zu schroff erfolgenden Abnahme der Vertiefung der aufsteigenden Cassettenzüge bildet man die Vertiefungen nach Pyramiden wie $p q o$, deren Spitze o in der Ebene der Erzeugenden der Kuppelfläche die Spitze eines gleichschenkeligen Dreieckes ist. Die Länge der Schenkel po und qo solcher Dreiecke ist jedesmal der Theilweite mn der zugehörigen Cassette gleich, während die Endpunkte der Grundlinie dieser einzelnen Dreiecke die inneren Punkte p und q der Querstege sind. Die innere Abschlussfläche der Cassetten wird durch Stücke einer Kuppelfläche erhalten, welcher eine besondere, in der Form von der gewählten erzeugenden Curve der eigentlichen Laibungsfläche etwas abweichende Erzeugende gegeben wird. Sie erhält für die unteren Cassettenreihen einen größeren Abstand von der Haupterzeugenden der Kuppel, als für die oberen Cassettenreihen. Ihre Wahl richtet sich nach der Tiefe, welche man den Cassetten unmittelbar über dem Cassettensockel und vor dem Kuppel Spiegel geben will. In der Zeichnung ist auf der Kuppelaxe der unterhalb C gelegene Punkt I als Mittelpunkt eines Kreisbogens gewählt, welcher mit dem die Tiefe der Cassetten fest legenden Halbmesser beschrieben, offenbar das stetige Wachsen der Vertiefungen der Cassetten vom Kuppel Spiegel bis zum Cassettensockel bedingt. Für eine Cassette über $p q$ ist ein Stück I dieses Bogens gezeichnet.

Ist für eine aufsteigende Cassettenreihe die Spitze o der zugehörigen Pyramide, ist außerdem die Abschlusslinie I der einzelnen Cassetten durch die Aufriss-Projection in einer Meridianebene bestimmt, so lassen sich die wagrechten Projectionen der einzelnen Cassetten finden. Für die Cassette über $p q$ ist v die wagrechte Projection der Pyramiden Spitze o . Mit Benutzung des Punktes v und der Aufriss-Projectionen der Cassette $p q$ wird, wie aus der Zeichnung unmittelbar zu erkennen ist, die Darstellung des Grundrisses der Cassetten leicht ermöglicht.

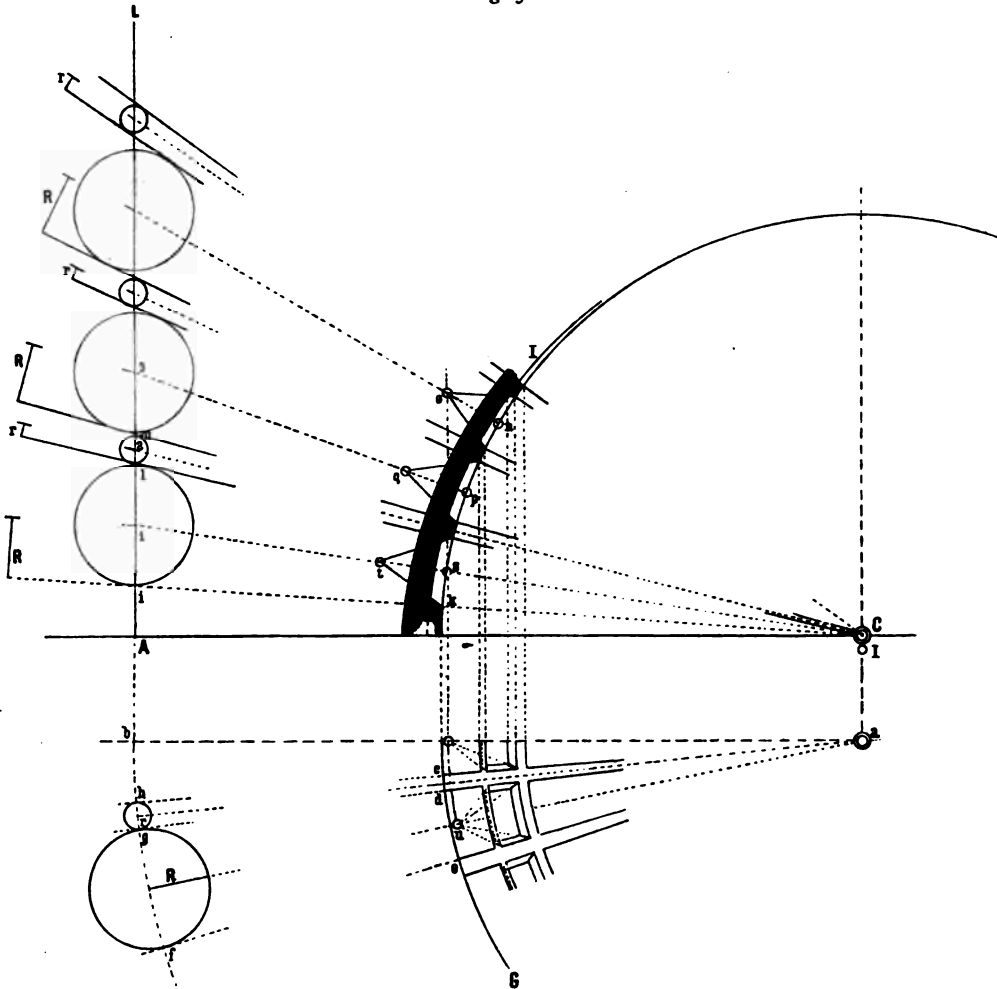
Sollen die Cassetten staffelartig angelegte Umrahmungen erhalten, so ist das für die Ausmittlung der Cassetten angegebene Verfahren nur der Zahl der Staffeln entsprechend oft zu wiederholen.

Ein zweites Verfahren für die Gestaltung der Cassetten mit ihren Stegen ist unter der Bezeichnung »*Emy'sches Verfahren*« bekannt. Hierbei wird nach Fig. 561 der Kreis G der oberen Kante k des Cassettensockels als Theilkreis für die Weiten ed

der unteren Cassettenreihe und der Breiten cd des Fusses der Stege zu Grunde gelegt. Die Meridianschnitte ac , ad , ae u. f. f. bestimmen die Begrenzungen der Cassettenreihen.

Für die Aufrisse der Cassetten und Stege auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um C beschriebener Viertelkreis angenommen ist, werden Hilfskreise mit dem Halbmesser R für die Cassetten und dem Halbmesser r für die Stege benutzt, welche mit den Theilbreiten de und cd des Theilkreises G in Abhängigkeit gebracht werden. Hierzu beschreibt man im Grundrisse mit dem beliebigen, entsprechend groß gewählten Halbmesser ab um a den Kreisbogen bf und erweitert die Strahlen ac , ad , ae bis zu ihren Schnitten h , g , f mit dem Kreisbogen bf . Die Linien ah und ag sollen Tangenten des kleinen Kreises mit den Berührungspunkten k und g werden.

Fig. 561.



Der Schnitt der hier nicht gezeichneten Lothe in h auf ah und in g auf ag bestimmt den Mittelpunkt dieses Kreises und die Größe seines Halbmessers r . Außerdem sollen die Linien ag und af Tangenten des großen Kreises mit den Berührungspunkten g und f werden. Lothe in g auf ag und in f auf af schneiden sich im Mittelpunkte des gefuchten Kreises, wonach alsdann die Größe des Halbmessers R zu bestimmen ist.

Für den Aufriss wird in der Meridianebene CA der Kuppel die Länge $CA = ab$ abgetragen und in A auf CA das Loth AL errichtet. Durch den gegebenen, in der oberen Sockelkante der Cassettenreihen liegenden Punkt k wird die entsprechend verlängerte Gerade Ci gezogen. Das auf Ci an beliebiger Stelle errichtete Loth R erhält die Länge des Halbmessers R des für die Cassettenbreite festgestellten Hilfskreises gf . Zieht man durch den Endpunkt des Lothes R die Parallele zu Ci , so trifft

dieselbe die Gerade AL im Punkte l . Der um l mit dem Halbmesser R beschriebene Kreis wird für die Höhe der ersten Cassettenreihe maßgebend. Die verlängerte Gerade Ch ist aus Gründen, welche, wie leicht ersichtlich, durch die Zeichnung an und für sich bedingt sind, eine Tangente des Kreises. Zieht man von C aus eine zweite Tangente Cl dieses Kreises, so wird die Höhe der ersten Cassettenreihe auf der Kuppelerzeugenden erhalten.

Zum Festlegen der nun folgenden Steghöhe wird wiederum in einem beliebigen Punkte der Tangente Cl das Loth r von der Länge des Halbmessers r des für die Stege ermittelten Hilfskreises hg errichtet und durch den Endpunkt dieses Lothes eine Parallele zu Cl gezogen, um im Schnitte a dieser Parallelen mit AL den Mittelpunkt des für die Steghöhe maßgebenden Kreises mit dem Halbmesser r zu erhalten. Eine von C aus an diesen Kreis gezogene Tangente Cm schneidet die gefuchte Steghöhe auf der Kuppelerzeugenden ab.

Setzt man die Bestimmung aller folgenden Cassetten- und Steghöhen in gleicher Weise fort, so sind alle Grundlagen für die Vollendung des Gesamtnetzes der Cassetten-Anordnung geschaffen.

Beim Emy'schen Verfahren tritt eine stetige Abnahme der Höhen- und Breitenabmessungen, sowohl der Cassetten selbst, als auch der aufsteigenden Stege und der Querstege, wie aus Fig. 561 erkannt werden kann, ein. Die Vertiefungen der Cassetten können genau nach den im vorhergehenden Artikel gemachten Mittheilungen unter der Annahme von Hilfspyramiden mit den Spitzen o , q u. f. f. und unter Einführung einer Hilferzeugenden I bestimmt werden. Bei staffelartig vertieften Cassetten ist einfach eine Wiederholung des geschilderten Emy'schen Verfahrens erforderlich.

363.
III.
Verfahren.

Wenn gleich nach den beiden, im Vorhergegangenen besprochenen Anordnungen der Cassetten Anhaltspunkte geboten sind, welche in den verschiedensten Fällen bei der Ausstattung der Laibungsflächen der Kuppelgewölbe durch Füllungen mit reicher oder einfacher Form zu Grunde gelegt werden können, so darf doch nicht unerwähnt bleiben, daß die gegebenen, ziemlich einfachen Darstellungen ihrem Wesen nach etwas gekünstelt erscheinen. Weit unbefangener und auch dem natürlichen Wege, welchen die Ausstattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes an sich zeigt, mehr entsprechend, ist allgemein der Anordnung der Cassetten nahe zu treten, indem man im Sinne der darstellenden Geometrie die Abwicklung der meistens schmalen Meridianstreifen, welche die Cassetten und Stege enthalten, oder eine sonst gewünschte Ausschmückung aufnehmen sollen, vornimmt. Die abgewickelten Flächenstücke können alsdann einzeln oder, unter Umständen bei zusammenhängendem Schmuck in fachgemäße Verbindung gebracht, für das Einzeichnen der beabsichtigten Ausstattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes benutzt werden.

Die entworfene Zeichnung ist dann rückläufig in den Grundriß, bezw. in den Aufriß mit Hilfe einer Schaar von Meridianlinien zu übertragen.

Diese allgemeine Anordnung zeigt Fig. 562 zunächst für die Anordnung von Cassetten mit nahezu quadratischer Form.

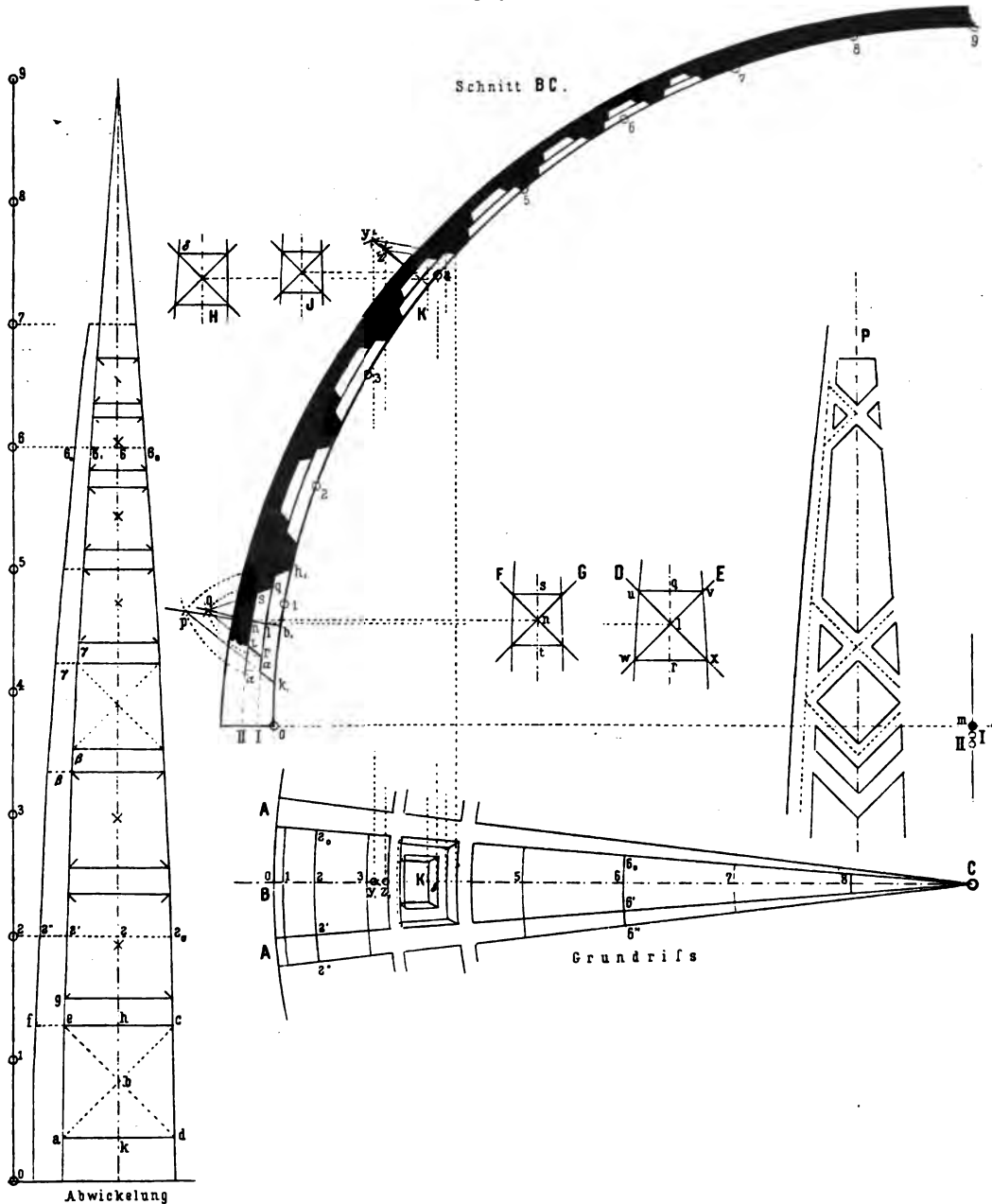
Im Grundriße ist B der Meridianstreifen der Cassetten und A der Meridianstreifen des aufsteigenden Steges. Im Schnitte BC ist der um m mit dem Halbmesser $mo = Co$ beschriebene Viertelkreis oq die Erzeugende des Kuppelgewölbes.

Der Viertelkreis oq ist in 9 gleiche Theile getheilt. Im Plane der Abwicklung sind die Erstreckungen or , ra u. f. f. gleich den Bogenlängen or , ra u. f. f. auf der lothrechten Linie oq abgetragen.

Durch die Punkte o , r , a u. f. f. gezogene Wagrechte müssen bei der durch k lothrecht gelegten Erstreckung der Meridianlinie über Co des Grundrisses die erstreckten Bogenlängen der durch o , r , a u. f. f. um C im Grundriße beschriebenen Bogen der Parallelkreise der Kuppelfläche je zur Hälfte nach links und rechts von der Linie k aus, so weit dabei die Meridianstreifen A und B in Betracht kommen, aufnehmen. So ist z. B. bei der durch a angenommenen wagrechten Linie $aa_0 = aa$, gleich der Erstreckung der Bogenlänge $aa_0 = aa$, im Grundriße für den Meridianstreifen B . Eben so ist hier für den Meridianstreifen A die Länge aa_1 , gleich der erstreckten Bogenlänge aa_1 , im Grundriße. In gleicher Weise ist noch bei der wagrechten Linie bb_0 in der Abwicklung und dem Bogen $b_0 b_1$ im Grundriße verfahren.

Ist die Abwicklung der Meridianstreifen B und A vollständig gezeichnet, so kann das Eintragen der unteren und oberen Seitenlinien der Cassetten in folgender Weise geschehen. In der Höhe h der Abwicklung über dem Fulse o des Kuppelgewölbes ist ad als erste untere Cassettenlinie fest gelegt. Von a und d aus sind unter einem Winkel von 45 Grad zu ad die Linien ac und de gezogen. Die Wagrechte ec bestimmt die obere Linie der nahezu quadratisch geformten Cassette.

Fig. 562.



Um die Breite des nun folgenden Quersteges zu erhalten, ist die Gerade ec bis zur Abwicklungslinie des Meridianstreifens für den aufsteigenden Steg nach f zu führen und in f eine Linie fg unter 45 Grad zu cf zu ziehen. Die durch g gelegte Wagrechte giebt die untere Seite der zweiten Cassettenreihe. Auf diesem Wege schreitet man nach und nach vor, um, wie aus dem Plane der Abwicklung

genau zu verfolgen ist, die Cassetten- und Steganlage vollständig in der Abwicklung zur Darstellung zu bringen.

Das Zurückführen der unteren und oberen Seitenlinien der Cassetten auf die Gewölbfläche wird mittels der Erzeugenden og im Schnitte BC vorgenommen. Hier ist z. B. die Bogenlänge k, b , durch Benützung kleiner Theilstrecken der Länge kb gleich der Erstreckung kb der Abwicklung abzutragen. Eben so ist die Bogenlänge b, h , so abzumessen, daß dieselbe der Erstreckung bh gleich wird. Gleiches gilt für die Stegbreiten.

Sind alle Cassettenhöhen hiernach auf og im Schnitte BC bestimmt, so sind die Grundriss-Projectionen leicht anzugeben.

Sollte etwa, wie im Plane P ausgeführt ist, eine besonders geformte Cassettenanlage Platz greifen, so ist ihr Entwurf auf dem zugehörigen abgewickelten Meridianstreifen vorzunehmen und alsdann unter Einfügung von Parallelkreisen und Meridiankreisen in die Aufriss- und Grundriss-Projection der Kuppelfläche sorgsam zu übertragen. Die Vertiefungen der Cassetten werden wiederum mittels Hilfspyramiden ganz in der hinlänglich besprochenen Weise fest gestellt.

In der Zeichnung sind staffelförmige Cassetten dargestellt. Deshalb wurden für jede Cassette, wie bei K , bezw. k, h , zwei Hilfspyramiden in Anwendung gebracht. Die hierfür erforderlichen Aufriss- und Grundriss-Projectionen können nach den Angaben der Zeichnung leicht erkannt werden.

Hierbei ist nur zu beachten, daß für die inneren beiden Flächen der staffelförmigen Cassetten die um I und II beschriebenen beiden Hilfserzeugenden I und II zu berücksichtigen sind. Die abgewickelten inneren Flächen, wie z. B. DE und FG für die Cassette k, h , oder H und J für die Cassette K , sind bei der angenommenen staffelförmigen Anordnung unter Benützung der Erzeugenden I und II zu zeichnen.

Eine besondere, schief angeschnittene und stark unterschnittene, dreifach gestaffelte Cassetten-Anordnung ist bei der kreisrunden Kuppel des Pantheon in Rom zu bemerken. Näheres hierüber, begleitet von kritischen, sehr zu würdigenden Erörterungen ist in Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« zu finden, worauf hier hingewiesen werden kann.

b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager.

364.
Stabilität
der Kuppel-
gewölbe.

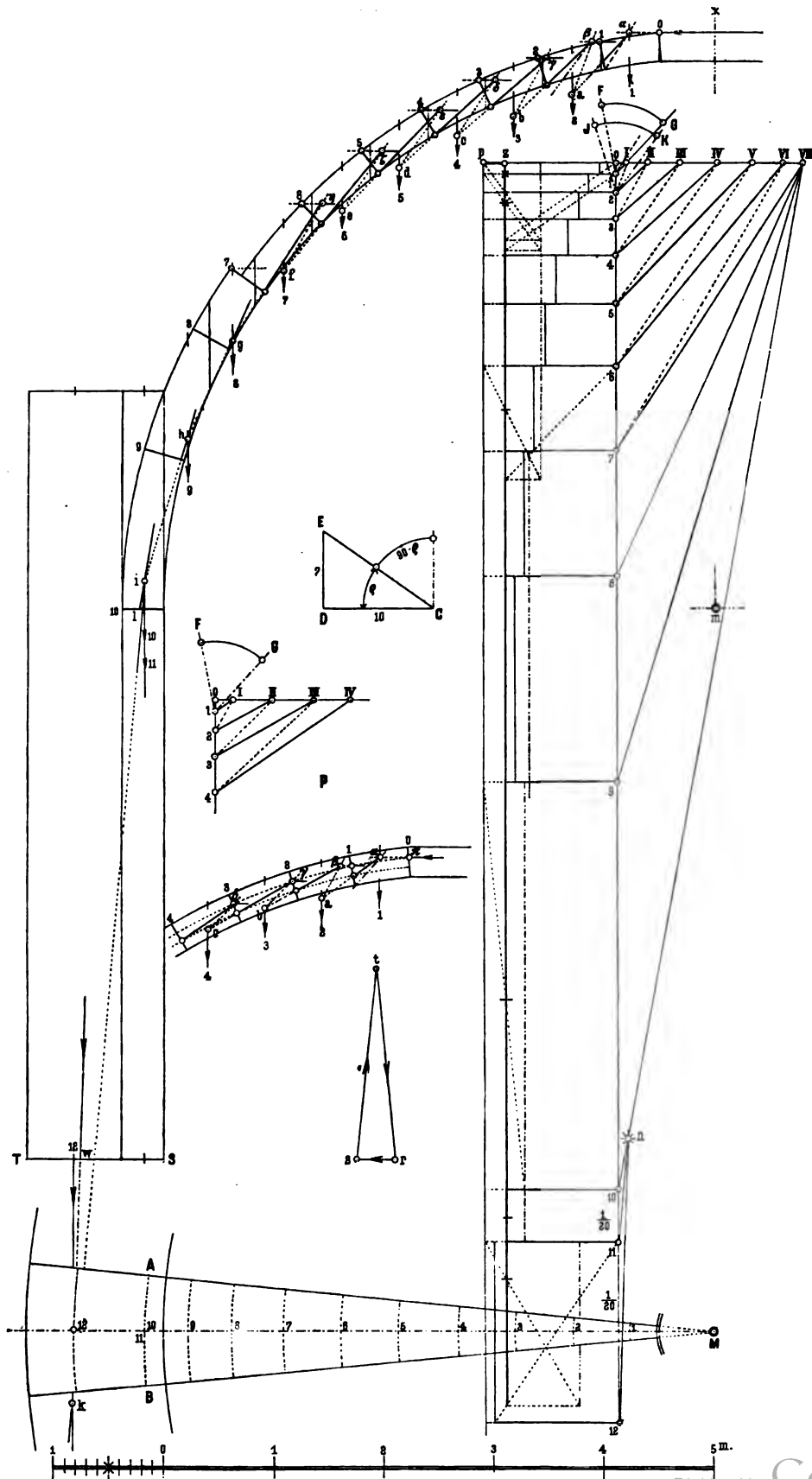
Bei der Besprechung der Stabilität der bußigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe ist bereits in Art. 315 bis 322 (S. 460 bis 469) eine Gruppe von Grundlagen mitgeteilt, welche geradezu bei der Prüfung der Stabilität der Kuppelgewölbe ohne Weiteres wieder zu benutzen sind. Diese Grundlagen folgen dem Principe des kleinsten Widerstandes, welches *Scheffler* ¹⁸⁸⁾ bewiesen hat. Hier erübrigt nur noch, unter Benützung der soeben erwähnten, bei der Prüfung der Stabilität der bußigen Kappen des gothischen Kreuzgewölbes gemachten Mittheilungen, den Gang der Stabilitäts-Untersuchung des Kuppelgewölbes näher zu erläutern.

In Fig. 563 ist ein Kuppelgewölbe aus Backsteinmaterial von 10 m Durchmesser statisch untersucht. Die Erzeugende der Kuppelfläche ist als Viertelkreis gewählt. Im Scheitel des Gewölbes bleibt eine Lichtöffnung von 1 m Durchmesser. Die Stärke des Gewölbes ist vorläufig im Scheitel zu 0,25 m, am Gewölbfusse l zu 0,38 m angenommen.

Aus der Kuppel ist der Meridianstreifen mit der wagrechten Projection MAB , dessen mittlere Dicke AB in der Widerlagsfuge io des Gewölbes 1 m beträgt, entnommen. Der nach der lothrechten Ebene Mio geführte Schnitt des Meridianstreifens ist im Aufriss dargestellt. Diese lothrechte Ebene ist Kräfteebene. Die Bogenfläche o bis io des Gewölbkörpers ist in 10 Theilstreifen zerlegt und für jede Theillinie nach den in Art. 143 (S. 200) gegebenen Ausführungen die zugehörige, nach m gerichtete Wölbfrage eingezeichnet.

¹⁸⁸⁾ Siehe: SCHEFFLER, H. Die Hydraulik auf neuen Grundlagen. Leipzig 1891.

Fig. 563.



Bei der verhältnißmäßig geringen Breite der durch lothrechte Theillinien begrenzten Theilstreifen kann ihr Schwerpunkt als in ihrer Mittellinie liegend angenommen werden. Ist das Kuppelgewölbe im Scheitel geschlossen, so ist das erste obere Theilstück als keilförmiger Körper zu behandeln und sein Schwerpunkt danach zu bestimmen. Die Lage der Geraden, worin die Gewichte 1 , 2 u. f. f. der den Theilstreifen zugewiesenen Gewölbkörper wirken, ist hierdurch bekannt. Die Abschnitte dieser Gewichtslinien innerhalb der Bogenfläche bestimmen meistens auch die mittlere Höhe der einzelnen Gewölbkörper. Die Fußpunkte 1 , 2 bis 10 der Gewichtslinien auf $M10$ im Grundrisse MAB des Meridianstreifens dienen alsdann gleichfalls zur Angabe der mittleren Dicke der Gewölbkörper.

Die um M mit den Halbmessern $M1$, $M2$ u. f. f. zwischen MA und MB beschriebenen Kreisbogen ergeben diese mittleren Dicken.

Nach der freien Wahl der sog. Basis $ps = 0,2^m$ und der Annahme der Strecke $so = 1^m$ ist genau nach den Erörterungen in Art. 249 (S. 363) die Größe der Körperinhalte, bezw. der Gewichte der Theilstücke in der im Plane bei m gezeichneten Strecke o bis 10 dargestellt.

Unter Verwendung dieses Gewichtplanes ist nunmehr, im vollsten Einklange mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Vorgetragenen, die statische Unterfuchung des Meridianstreifens des Kuppelgewölbes anzustellen. Hierbei sei die Größe des Reibungswinkels ρ des Materials durch $\operatorname{tg} \rho = 0,7$ gegeben und als Winkel DCE aufgetragen.

Der erste Wölbstein des oben offenen Gewölbes besitzt die Gewichtslinie 1 und das Gewicht gleich der Strecke $o1$.

Die durch den höchsten Punkt o des Rückens dieses Steines geführte Wagrechte giebt mit der Gewichtslinie 1 den Schnitt α .

Die Fuge 1 wird von der Gewichtslinie 1 nicht getroffen. Die Mittelkraft der Seitenpressungen des ersten, höchsten Kranzsteines wirkt in der durch o geführten wagrechten Linie $o\alpha$. Soll diese Mittelkraft für den Gleichgewichtszustand gegen Drehen und Gleiten einen möglich kleinsten Werth annehmen, so ist ihre Größe $1o$ im Kräfteplane unter Beachtung des in Art. 318 (S. 463) Gefagten zu bestimmen.

Die durch α und den tiefsten Punkt der Fuge 1 punktirt gezogene Linie giebt die Lage der Resultirenden, welche aus dem Gewichte 1 des ersten Kranzsteines und der noch unbekannten in $o\alpha$ wirkenden Mittelkraft der Seitenpressungen dieses Kranzsteines entstehen muß, wenn eben noch der Gleichgewichtszustand gegen Drehung des Kranzsteines um die untere Kante der Fuge 1 vorhanden sein soll. Diese Resultirende schließt jedoch mit der Normalen zur Fugenrichtung 1 , wie sich aus dem Kräfteplane ergibt, einen größeren Winkel ein, als der fest gesetzte Reibungswinkel ρ zuläßt.

Als dann zieht man im Gewichts- oder Kräfteplane durch den Endpunkt 1 der Gewichtsstrecke $o1$ des ersten Kranzsteines die Gerade $1F$ parallel zur Fugenrichtung 1 , und verwendet man nunmehr nach den in Art. 317 (S. 463) gegebenen Ausführungen sofort den Winkel $F1G = 90 - \rho$, so schneidet der Schenkel $1G$ eine Kräftestrecke $1o$ als Mittelkraft der Seitenpressungen des ersten Kranzsteines ab, welche größer ist, als die vorhin bei der Prüfung des Gleichgewichtszustandes gegen Drehen entstehende Mittelkraft jener Pressungen. Der parallel zu $G1$ durch α im Meridianschnitte gezogene Strahl $\alpha\alpha$ trifft die Fuge 1 innerhalb der Schnittfläche des Gewölbes; mithin ist $1o$ der möglich kleinste Werth der Mittelkraft der Seitenpressungen des ersten Kranzsteines, welche wach gerufen werden, um diesen Kranzstein im Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten zu erhalten.

Setzt man die in $\alpha\alpha$ thätige Resultirende 11 der Seitenkräfte $1o$ und $o1$ mit dem Gewichte 12 des zweiten Kranzsteines im Gewichtplane zu der Resultirenden 12 zusammen; zieht man, da diese Resultirende im Gewölbplane durch den Schnitt α der in $\alpha\alpha$ wirkenden Resultirenden des ersten Kranzsteines mit der Gewichtslinie 2 des zweiten Kranzsteines gehen muß, die Parallele $\alpha\beta$ zu 12 — so erkennt man, daß diese in $\beta\alpha$ wirkende Mittelkraft 12 die Fuge 2 innerhalb des Gewölbschnittes gar nicht trifft. Deshalb muß zum Herstellen des Gleichgewichtszustandes des zweiten Kranzsteines gegen Drehen und gegen Gleiten wiederum eine Zusatzkraft thätig werden, die als Mittelkraft der Seitenpressungen des zweiten Kranzsteines zur Annahme eines möglich kleinsten Werthes zunächst durch den oberen Punkt 1 der Fuge 1 geht und ihren Angriffspunkt im Schnitte β der in $\beta\alpha$ wirkenden Resultirenden 12 mit der durch 1 geführten wagrechten Linie 1β erhält.

Sodann muß die zu bestimmende, in 1β wirkende Mittelkraft der Seitenpressungen des zweiten Kranzsteines eben Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten bewirken können.

Für das Gleichgewicht gegen Drehen wird diese Mittelkraft am kleinsten, sobald die Resultirende aus 12 und dieser noch unbekannten Mittelkraft in der Richtung $\beta\delta$ durch den tiefsten Punkt der Fuge 2 geht. Zieht man im Gewichtplane 211 parallel zu $\beta\delta$, so ist 111 die für den Gleichgewichtszustand gegen Drehen des zweiten Kranzsteines erforderliche möglich kleinste Mittelkraft der zugehörigen Seitenpressungen.

Für das Gleichgewicht gegen Gleiten ist diese Mittelkraft aber so zu bestimmen, daß die Richtung der Resultirenden aus der Kraft Ia und dieser noch unbekannten Mittelkraft mit der Normalen zur Fugenrichtung a keinen den Reibungswinkel ρ überschreitenden Winkel einschließt.

Zieht man durch den Punkt a im Gewichtsplane die Gerade $a\gamma$ parallel zur Fugenrichtung a und verwendet man in bekannter Weise den Winkel $\gamma aK = 90 - \rho$, so ergibt sich, daß die durch β parallel mit aK geführte Gerade die Bogenfläche des Gewölbes innerhalb der Fuge a nicht trifft, daß daher zum Festsetzen der Mittelkraft der Seitenpressungen des zweiten Kranzsteines die Prüfung des Gleichgewichtszustandes gegen Drehung allein hier schon maßgebend wird.

Für alle folgenden Fugen tritt eine Berücksichtigung des Reibungswinkels nicht mehr ein (vergl. Art. 322, S. 473 und Fig. 528).

Für die Fuge β kommt zunächst die in βb wirkende Resultirende IIa in Betracht. Dieselbe setzt sich alsdann in b mit dem Gewichte $a\beta$ des dritten Kranzsteines zu einer Resultirenden $II\beta$ zusammen. Die Gerade γb parallel zu $II\beta$ durch b im Gewölbpiane geführt, giebt ihre Lage für die Bogenfläche des Gewölbes. Sie schneidet die durch den oberen Punkt a der Fuge a gezogene Wagrechte in γ . Die durch γ und den tiefsten Punkt der Fuge β geführte Gerade γc bedingt die Lage der für das Gleichgewicht gegen Drehen des dritten Kranzsteines eintretenden Resultirenden, deren Seitenkräfte als $II\beta$ und als die noch zu bestimmende wagrechte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines sich geltend machen. Zieht man βIII im Gewichtsplane parallel zu γc , so ist $III II$ die gesuchte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines.

Auf ganz gleichem Wege fährt man in der Zusammensetzung der für die folgenden Kranzsteine in Frage kommenden Kräfte fort, um in den Strecken $IV III$, $V IV$, $VI V$ und $VII VI$ die Mittelkräfte der Seitenpressungen für den 4., 5., 6. und 7. Kranzstein durch Zeichnung zu bestimmen. Für den 8. Kranzstein oberhalb der Fuge δ kommt eine wagrechte Mittelkraft von Seitenpressungen nicht mehr in Thätigkeit. Die in der Richtung ηg bis zur Fuge γ auftretende Resultirende $VII \gamma$ setzt sich in g mit dem Gewichte $\gamma \delta$ des 8. Kranzsteines zu der Mittelkraft $VII \delta$ zusammen. Die durch g parallel zu $VII \delta$ geführte Gerade $g h$ trifft bereits die Fuge δ innerhalb der Bogenfläche, so daß schon ohne Eintritt einer Mittelkraft von Seitenpressungen in der durch den oberen Punkt γ geführten Wagrechten für diesen Kranzstein Sicherung gegen Drehen vorhanden ist.

Das Gleiche gilt für den 9. und 10. Kranzstein.

Aus dem Kräfteplane ergibt sich in $II 1$, $II 2$ u. f. f. bis $VII 7$, $VII 8$, $VII 9$ und $VII 10$ der Reihe nach jedesmal der Druck auf die entsprechende Lagerfläche der Fugen 1 , 2 u. f. f. bis 7 , 8 , 9 und 10 .

Würden diese resultirenden Drücke der Lagerfugenflächen über die äußeren, in der Rückenlinie des Meridianstreifens liegenden Fugenkanten hinausfallen oder mit der Normalen der zugehörigen Fuge von unten einen Winkel einschließen, welcher größer als der Reibungswinkel ρ ist, so ist das unterfuchte Kuppelgewölbe nicht standfähig, da im ersten Falle kein Gleichgewicht gegen Drehen, im letzten Falle kein Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden ist.

Die Resultirende aller wagrechten Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine ist gleich der Summe dieser Mittelkräfte, also gleich der Strecke $VII 10$. Sie giebt die Größe des wagrechten Schubes an, welcher vom Meridianstreifen des Kuppelgewölbes in der Widerlagsfuge 10 auf den Widerlagskörper übertragen wird.

Zu bemerken ist, daß dieser resultirende wagrechte Schub seinen größten Werth $VII 10$ bereits für die Fuge γ erreicht hat. Die Fuge, welcher überhaupt der größte resultirende wagrechte Schub zunächst zu theil wird, heißt auch beim Kuppelgewölbe Bruchfuge oder Brechungsfuge. In der Zeichnung ist also Fuge γ die Bruchfuge. Unterhalb der Bruchfuge müssen bei einem stabilen Gewölbe die Angriffspunkte der einzelnen Lagerfugendrücke $gh = VII 8$, $hi = VII 9$ und $il = VII 10$ für die zugehörigen Fugen δ , 9 und 10 , wie hier der Fall ist, innerhalb der Bogenflächen bleiben.

Wird die Forderung erhoben, daß sowohl die Angriffspunkte der Lagerfugendrücke, als auch die wagrechten Linien, worin die Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine wirken, das Gebiet des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianstreifens nicht verlassen sollen, so kann, wie der Plan P in Fig. 563 sofort erkennen läßt, die Stabilitäts-Untersuchung des Kuppelgewölbes unter Beachtung des Flächenstückes, welches dem inneren Drittel der Bogenfläche entspricht, dem Wesen nach ganz so vorgenommen werden, wie im Hauptplane gezeigt ist. Zugleich kann hierbei auf Art. 320 (S. 466) verwiesen werden.

In unmittelbarem Zusammenhange mit der statischen Untersuchung des Meridianstreifens kann die Prüfung der Stabilität des Widerlagers des Kuppelgewölbes in einfacher Weise durch Zeichnung vorgenommen werden.

365.
Stabilität
der
Widerlager.

Der in Fig. 563 im Grundrisse und Schnitte dargestellte Widerlagskörper ist aus 2 Theilstreifen mit den Gewichten 11 und 12 gebildet. Die Gewichtstrecken 1011 des Theilkörpers 11 und 1112 des Stückes 12 sind im Gewichtsebene zur Vermeidung sehr langer Kräftestrecken nur in $\frac{1}{30}$ ihrer sonst erforderlichen Längen aufgetragen.

Der in der Linie il auf die Widerlagsfuge gelangende Druck $VII10$ setzt sich mit dem Gewichte 11 des unterhalb der Fuge 10 vorhandenen Widerlagstheiles zu einer durch den Schnitt i der Gewichtslinie 11 mit dem Strahle il gehenden Mittelkraft zusammen. Um diese Mittelkraft zu bestimmen, muß, da das Gewicht des Theilstreifens 11 in $\frac{1}{30}$ seiner Größe dargestellt ist, auch die Kräftestrecke $VII10$ nur in $\frac{1}{30}$ ihrer Größe benutzt werden.

Die Strecke $n10$ ist $\frac{1}{30}$ der Strecke $VII10$; mithin ist $n11$ die gesuchte Mittelkraft ebenfalls in $\frac{1}{30}$ ihrer Größe.

Zieht man die Gerade ik parallel zur Linie $n11$, so ergibt sich in ik die Lage der fraglichen Mittelkraft. Sie trifft die Gewichtslinie 12 im Punkte k . Die Zusammensetzung von $n11$ und 1112 ergibt die Mittelkraft $n12$. Zieht man durch k die Gerade wk parallel zu $n12$, so ist im Strahle wk die Lage dieser Mittelkraft im Plane des Widerlagers bestimmt. Sie trifft die als fest vorausgesetzte Fugebene ST des Widerlagskörpers im Punkte w . Da der Abstand Tw hier noch etwas größer als $\frac{1}{3} ST$ gefunden ist, so ist entsprechende Sicherheit des angenommenen Widerlagers gegen Drehung vorhanden. Da die Richtung wk mit der Normalen zu ST einen Winkel einschließt, welcher weit kleiner als der Reibungswinkel ρ bleibt, so ist auch Gleichgewicht gegen Gleiten bekundet.

Will man die Stabilität des Widerlagers unter Beachtung des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianstreifens prüfen, so erleidet das Wesen der hierbei zu verfolgenden Schritte, welche außerdem mit der in Art. 142 (S. 197) besprochenen Bestimmung der Widerlagsstärke des Tonnengewölbes in vollster Uebereinstimmung stehen, keine Beeinträchtigung.

366.
Gewölbfstärke.

Auf Grund der Ergebnisse der statischen Untersuchung des Meridianstreifens des Kuppelgewölbes ist die Gewölbfstärke in der in Art. 323 (S. 475) angegebenen Weise näher fest zu stellen.

Die größte wagrechte Mittelkraft der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine ist die Kraft $IVIII$ der vierten Kranzschicht. Trägt man $sr = IVIII$ auf, zieht man durch r die Lothrechte zu MB und durch s die Lothrechte zu MA des Grundrisses MAB vom Meridianstreifen, so erhält man in st , bzw. tr die normalen Seitenpressungen des 4. Kranzsteines. Für alle übrigen Kranzsteine sind derartige Seitenpressungen kleiner, weil alle übrigen zugehörigen Mittelkräfte kleiner als $IVIII$ sind.

Aus praktischen Gründen, namentlich zur Vermeidung einer zu bedeutenden Zahl ungleich starker Wölfschichten, geht man für die Berechnung der von den normalen Seitenpressungen zunächst abhängigen Gewölbfstärke von den größten dieser Pressungen aus. Diese normalen Pressungen $st = tr$ sind im Plane gemessen gleich $1,75$ m. Die Basis ist $ps = 0,2$ m; folglich ist die normale Pressung gleich $1,75 \cdot 0,2 = 0,35$ cbm. Die zwischen den Fugen 3 und 4 des Meridianstreifens gegebene mittlere Breite des 4. Kranzsteines mißt $0,88$ m.

Zur Anwendung der beim Normaldrucke bei einer Tiefe gleich 1 m abgeleiteten Gleichung 150 (S. 187) ist N für die Stoßflächen des 4. Kranzsteines zu berechnen als

$$N = \frac{0,35 \cdot 1}{0,88} = 0,4 \text{ cbm.}$$

Nach der eben bezeichneten Gleichung ergibt sich für Backsteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0,8) 0,4} = 0,12 \text{ m,}$$

d. h. gleich einer Backsteinbreite.

Der Lagerfugendruck für die Fuge 4 ist gleich $IV4$. Sieht man diesen Druck vermöge seiner nur geringen Abweichung von der normalen Stellung zur Fugenrichtung 4 sofort als zugehörigen Normaldruck an, so wird, da $IV4 = 1,35$ m mißt und die mittlere Dicke der Lagerfugenfläche 4 nach dem Grundrisse MAB des Meridianstreifens zu $0,5$ m erhalten wird, unter Beachtung der Basis $ps = 0,2$ m die Maßzahl des Normaldruckes der Lagerfuge 4 für die Tiefe gleich 1 m gefunden als

$$N = \frac{1,35 \cdot 0,2 \cdot 1}{0,5} = 0,5 \text{ cbm.}$$

Dieser Werth giebt nur eine Stärke

$$d_2 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0,8) 0,5} = \infty 0,11 \text{ m.}$$

Da fonach d_2 kleiner als d_1 wird, so ist in erster Linie die Stärke $d_1 = 0,12$ m zu berücksichtigen.

Für die Fuge 7 ist der Lagerfugendruck gleich $VII\ 7 = 3,1\text{ m}$ und die mittlere Dicke gleich $0,8\text{ m}$; folglich wird, da ηg als Parallele zu $VII\ 7$ als Normale zur Fugenrichtung 7 beibehalten werden kann, für die Tiefe gleich 1 m berechnet

$$N = \frac{3,1 \cdot 0,8 \cdot 1}{0,8} = 0,775\text{ cbm} = \infty 0,8\text{ cbm.}$$

Hierfür wird die Gewölbstärke

$$d_3 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0,8) 0,8} = \infty 0,14\text{ m,}$$

also größer als eine halbe Backsteinlänge.

Für die Widerlagsfuge 10 ist der Normaldruck nach Messung der Gewichtsstrecke $o\ 10 = 9,35\text{ m}$ bei der mittleren Dicke gleich 1 m zu berechnen als

$$N = \frac{9,35 \cdot 0,8 \cdot 1}{1} = 1,87\text{ cbm.}$$

Dieser Normaldruck erfordert eine Gewölbstärke

$$d_4 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 1,87) 1,87} = 0,21\text{ m,}$$

also nahezu eine Backsteinlänge.

Die im Vorstehenden berechneten Gewölbbmessungen sind durchweg kleiner als die in der Zeichnung angenommenen Stärken. Sie liefern gewisse Grenzwerte, welche bei einer nunmehr zum zweiten Male durchzuführenden Stabilitäts-Untersuchung des Kuppelgewölbes in Betracht zu ziehen sind.

Zu diesem Zwecke wird für den neuen Meridianstreifen, da für die Fuge 7 schon $0,14\text{ m}$ Stärke eintreten müßte, bis zur Fuge 6 eine Gewölbstärke zu $\frac{1}{2}$ Backstein, von Fuge 6 bis zur Widerlagsfuge 10 dagegen eine Gewölbstärke zu 1 Backstein angenommen und nunmehr ganz in der bei Fig. 563 angegebenen Weise die Stabilitäts-Untersuchung dieses schwächeren Meridianstreifens durchgeführt.

Im vorliegenden Falle ergibt diese hier nicht weiter dargestellte Untersuchung jedoch den Ausweis, daß die Gewölbstärken im Allgemeinen und besonders in der Widerlagsfuge 10 wieder zu vergrößern sind, so daß die in Fig. 563 vorweg angenommenen Gewölbstärken zweckmäßig beibehalten werden.

Die in Fig. 563 enthaltene statische Untersuchung des Widerlagers, abhängig gemacht von den im Meridianstreifen nach gerufenen Kräften, welche zur Herstellung des Gleichgewichtszustandes einem möglich kleinsten Werthe entsprechen, liefert das Ergebniss der sicheren Standfähigkeit des Stützkörpers, da der Angriffspunkt w der letzten in Betracht zu ziehenden Resultirenden wk noch innerhalb des inneren Drittels der Stärke ST des Widerlagers liegt, da außerdem die Mittellinie des Druckes die Widerlagsfläche nicht verläßt und da endlich auch eine Gefahr des Gleitens nicht bekundet ist.

Sollte die Strecke Tw genau gleich $\frac{ST}{3}$ werden, so könnte die Breite des Theilstreifens 12 fogar noch etwas verkleinert werden.

Eine noch größere Sicherheit für die Standfähigkeit des Widerlagers läßt sich einführen, sobald, wie im Plane P von Fig. 563 angedeutet ist, die im Meridianstreifen zu ermittelnden Pressungen unter der Benutzung des inneren Drittels der Bogenfläche bestimmt und bei der fortgesetzten statischen Untersuchung des Widerlagers in bekannter Weise derart benutzt werden, daß der Angriffspunkt w den Abstand gleich ein Drittel der Widerlagsstärke von der Außenkante des Stützkörpers erhält.

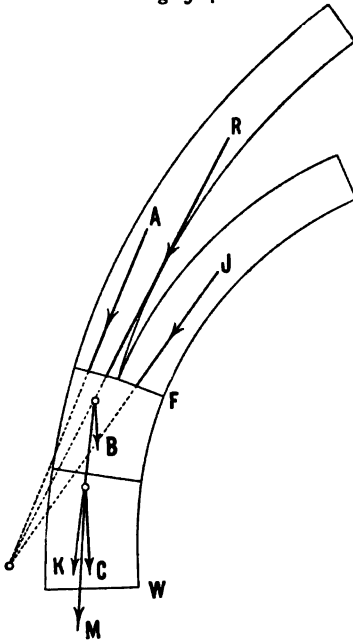
In dem in der Zeichnung behandelten Falle ist die Stärke ST des Widerlagers gleich $1,25\text{ m}$. Der Durchmesser des betrachteten Kuppelgewölbes ist 10 m ; mithin ist die Widerlagsstärke gleich $\frac{1,25}{10} = \frac{1}{8}$ dieses Durchmessers.

Der resultirende wagrechte Schub, welcher vom Meridianstreifen bei der mittleren Dicke 1 m am Fusse in der Widerlagsfuge des Kuppelgewölbes auf den

367.
Widerlags-
stärke.

368.
Fußring.

Fig. 564.



Widerlagsfuge W liegt, nach und nach unter Einführung der entstehenden Mittelkräfte K , M u. f. f. die Stabilitäts-Untersuchung zu vollenden.

Der resultierende wagrechte Schub, welcher vom Meridianstreifen der Doppelkuppel in der Widerlagsfuge auf den Widerlagskörper übertragen wird, ist gleich der Summe der sämtlichen wagrechten Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine der Außen- und Innenkuppel. Die Prüfung der Stabilität des Widerlagers selbst erfolgt auch für Doppelkuppeln in der in Art. 365 (S. 519) angegebenen Weise. Eben so richtet sich die Bestimmung der Gewölbstärke beider Kuppeln nach dem in Art. 366 (S. 520) Vorgetragenen.

Die statische Untersuchung der Stütz- oder Hängekuppel (Art. 353, S. 505) ist, wie beim gewöhnlichen Kuppelgewölbe, in der Weise durchzuführen, als zunächst ein am weitesten gespannter Meridianstreifen der Hängekuppel, dessen mittlere lothrechte Meridianebene in den meisten Fällen durch eine Ecke des

als Quadrat, Rechteck oder Vieleck gegebenen Grundrisses des Gewölbes gehen muß, der erforderlichen Prüfung unterworfen wird.

Die Ergebnisse dieser Prüfung sind unmittelbar auf die weniger weit gespannten Meridianstreifen, welche natürlich in ihrer mittleren Fußdicke im Grundkreise der Kuppel und in ihrer Belastung, wie gewöhnlich der Fall, keine Abweichung vom Hauptstreifen aufweisen müßten, zu übertragen.

Hiernach treten dieselben Gesichtspunkte, welche in Art. 322 (S. 469) bei der Zerlegung der bußigen Kappen gothischer Kreuzgewölbe angeführt sind, im Wesentlichen wieder in den Vordergrund. Auch die Bestimmung der Gewölbdruücke, welche von den verschieden weit gespannten Meridianstreifen auf die Widerlagskörper gelangen, ist unter Beachtung des in dem bezeichneten Artikel Vorgetragenen zu treffen.

Wird das oben offene, durch den Lichtring im Scheitel begrenzte Kuppelgewölbe mit einer Laterne, dessen Träger meistens der Lichtring selbst ist, versehen, so erfährt das Kuppelgewölbe hierdurch eine besondere Belastung, welche je nach dem Gewichte der Laterne von geringem oder erheblichem Einfluß auf die Stabilität und die Stärke des Gewölbes sein kann.

Wird das auf den Kranzstein des Meridianstreifens entfallende Gewicht des zugehörigen Laternenstückes durch das Gewicht eines Steinprismas des Wölbmaterials ersetzt und mit dem Gewichte des Kranzsteines vereinigt, so ist die Belastung dieses Kranzsteines, bezw. des Theilstückes im Meridianstreifen bekannt. Die unter Beachtung dieser Belastung einzuleitende statische Untersuchung des Meridianstreifens weicht im Wesen von den zu Fig. 563 (S. 517) gegebenen Erläuterungen nicht ab.

Ist z. B. L in Fig. 565 die lothrechte Schwerlinie des für den zu Grunde gelegten Meridianstreifen m in Frage kommenden Laternenstückes, so muß diese Linie L auch Schwerlinie oder, genau genug, die Mittellinie des ersten Theilstreifens für den zugehörigen Kranzstein bleiben.

370.
Stütz-
oder
Hängekuppel.

371.
Kuppel
mit
Laterne.

Die Grundfläche dieser Steinsäule kann mit hinlänglicher Genauigkeit als ein wagrecht liegendes Rechteck von der Länge $2a$ Met. und der Breite δ Met. angenommen werden. Das Gewicht von 1 cbm Wölbmaterial sei γ Kilogr. Die zu berechnende mittlere Höhe x Met. der Steinsäule, welche das Gewicht P Kilogr. besitzen soll, ergibt sich aus dem Ausdruck

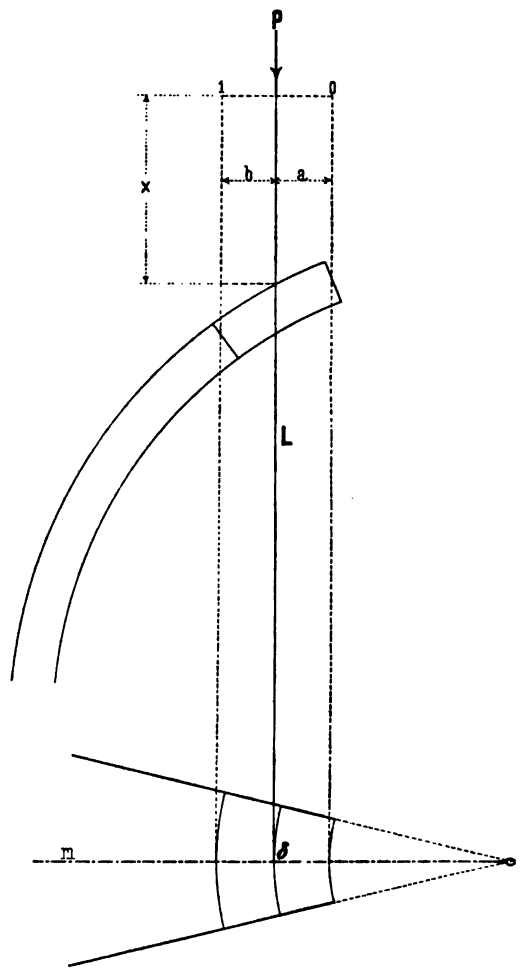
mit

Hiermit ist die Bestimmung der Belastung der Kuppel durch die Laterne getroffen. Die auf bekanntem Wege aufzufindenden Seitenpressungen und Lagerfugendrucke der einzelnen Kranzsteine geben weiteren Aufschluß über d

Wird ein Kuppelgewölbe in irgend einer Ringschicht durch ein Einzelgewicht belastet, so ist sein Einfluß auf die Seitenpressungen und Lagerfugendrucke der Kranzsteine in dem besonderen Meridianstreifen, dessen Symmetrieebene die lothrechte Schwerlinie der Einzelbelastung enthält, unter entsprechender Berücksichtigung von Gleichung 249 (S. 465) und unter Anwendung der sonst erforderlichen graphischen Ausführungen zu beurtheilen.

372.
Winddruck.

Fig. 565.



von Kuppelgewölben, welche neben ihrem Eigengewicht und ihrer sonstigen ruhenden Belastung noch vom Winddrucke beansprucht sind, einen Näherungsweg betreten müssen.

Die einzelnen Meridianstreifen der halben Kuppel, welche von der Windrichtung getroffen werden, erhalten durch den Winddruck ungleich große Belastungen. Der Meridianstreifen, dessen lothrechte Symmetrieebene zugleich Ebene des Windstromes ist, erfährt die größte Beanspruchung. Ermittelt man unter Berücksichtigung der in Art. 337 (S. 486) gegebenen Anleitung die auf den Rückenflächen der einzelnen Kranzsteine dieses Meridianstreifens eintretenden lothrecht stehenden, im Schwerpunkte der gedrückten Flächen angreifenden Winddrücke; setzt man dieselben einzeln mit den Gewichten und der sonst etwa vorhandenen Belastung der zugehörigen Kranzsteine zusammen, um hierdurch für jeden Kranzstein die Resultirende der ihn angreifenden äußeren Kräfte zu erhalten: so lassen sich unter nunmehriger Benutzung dieser einzelnen Resultirenden ganz im Sinne der in Art. 364 (S. 516) gegebenen Darlegungen die sämtlichen Seitenpressungen und Lagerfugendrücke des im Allgemeinen am ungünstigsten beanspruchten Meridianstreifens ermitteln und hiernach die Gewölbstärken des durch Winddruck mit belasteten Kuppelgewölbes bemessen.

Werden mehrere Kuppelgewölbe als Stutzkuppeln neben einander angeordnet und durch Gurtbogen getrennt, so kommen für die Beanspruchung dieser Gurtbogen und ihrer gemeinschaftlichen Pfeiler ähnliche Verhältnisse in Betracht, wie solche in Art. 258 (S. 381) beim Kreuzgewölbe berücksichtigt sind. Tritt in Folge von ungleich weit gespannten und ungleich belasteten Gurtbogen, die als Widerlager einzelner, neben einander gereihter Hänge- oder Stutzkuppeln von verschiedener Spannweite dienen und gruppenweise von einem gemeinschaftlichen Gurtpfeiler getragen werden, ein ungünstiger Verlauf der Mittellinie des Druckes im Pfeiler ein, so ist auch hier, wie beim Kreuzgewölbe, durch entsprechende Ausmauerung der Gewölbzwickel oberhalb des Pfeilers eine Sicherung der Stabilität des Stützkörpers einzuführen. Die statische Untersuchung der Gurtbogen und ihrer Pfeiler erfolgt nach den bekannten Grundlagen.

373.
Kuppelgewölbe
zwischen
Gurtbogen.

Form und Belastung der Kuppelgewölbe bedingen unter Beachtung der Festigkeit und der sonstigen Eigenschaften des Wölbmaterials die Gewölbstärke. Den hierbei obwaltenden verschiedenen Verhältnissen können empirische Regeln für die Stärke der Kuppelgewölbe nicht sofort gerecht werden.

374.
Empirische
Regeln
für die
Gewölbstärke.

Die Ergebnisse dieser Regeln sollen im Allgemeinen nur als Ausgangswerthe dienen, welche der statischen Untersuchung und der damit zusammenhängenden Bestimmung der Stärke der Kuppelgewölbe vorläufig zu Grunde zu legen sind.

Für kleinere, mäßig belastete Kuppelgewölbe aus gutem Backsteinmaterial über quadratischem Grundriss können folgende Gewölbstärken als Ausgangswerthe Berücksichtigung finden:

Spannweite bis:	4	6	8	10 Met.
Gewölbstärke im Scheitel:	$\frac{1}{2}$	1	1	1 Backstein
» am Kämpfer:	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2 »

Ähnliche Abmessungen können auch für die Stärke kleinerer Kuppelgewölbe aus Backstein über Kreisgrundrissen gewählt werden.

Für die Ermittlung der Widerlagsstärke der Kuppelgewölbe sind die nach empirischen Regeln anzunehmenden Werthe gleichfalls nur als vorläufige Abmessungen anzusehen, welche für die Stabilitäts-Untersuchung der im Querschnitte oft nach

375.
Empirische
Regeln für die
Widerlagsstärke.

befonderen baulichen Verhältnissen angeordneten Widerlagskörper den ersten Anhalt gewähren.

Bei verschiedenen Großconstructionen der Kuppelgewölbe älterer und neuerer Zeit schwankt die Stärke der Widerlager zwischen $\frac{1}{8}$ bis etwa $\frac{1}{11}$ ihrer Spannweite.

Rondelet stellte die Regel auf, daß dem Kuppelgewölbe die Hälfte der Widerlagsstärke des Tonnengewölbes von gleicher Spannweite als Widerlager zugewiesen werden soll.

Allgemein genommen, kann man die Widerlagsstärke der Kuppelgewölbe näherungsweise zu $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{8}$ des Kuppeldurchmessers wählen.

Wird in besonderen Fällen der in Art. 368 (S. 521) erwähnte Fußring zur theilweisen oder gänzlichen Vernichtung des in der Widerlagsfläche des Kuppelgewölbes wirkenden wagrechten Gewölbschubes angebracht, so kann die Stärke des Widerlagskörpers in geeigneter Weise herabgesetzt werden. Beruhigenden Aufschluß über die alsdann einzuführende Widerlagsstärke hat die anzustellende statische Untersuchung zu geben.

c) Ausführung der Kuppelgewölbe.

376.
Allgemeines.

Die Ausführung der Kuppelgewölbe mit über einander gelagerten concentrischen Ring- oder Kranzschichten, deren Lagerflächen durch normal zur Laibungsfläche der Kuppel gerichtete gerade Linien erzeugt werden, deren Stofsflächen lothrechten Meridianebenen des Gewölbes angehören, ist im Allgemeinen sehr einfach und in vielen Fällen bei nicht zu großen Spannweiten der Kuppeln und bei geeignetem Wölbmaterial ohne Schwierigkeiten selbst in freihändiger Mauerung zu beschaffen. Der Bildung der Lager- und Stofsugen entsprechend, erhält jeder Wölbstein im Wesentlichen eine doppelt keilförmige Gestalt.

Ueber die Ausführungsweise der Kuppelgewölbe der frühesten Zeit und der Zeit der Römer über kreisrunden und vieleckigen Räumen sind in Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« eingehende Mittheilungen, worauf hier verwiesen werden muß, gemacht. Die dort näher gegebene Beschreibung der aus Quadern ohne oder mit Mörtel, aus Backsteinen, aus Backsteinen mit Gufsgemäuer, aus Gufsgemäuer mit Backsteinverblendung, aus Töpfen mit Gufsmauerwerk oder aus eigenartig geformten Töpfen allein hergestellten Kuppelgewölbe bietet eine Fülle von Angaben über die verschiedensten Arten ihrer Ausführung dar.

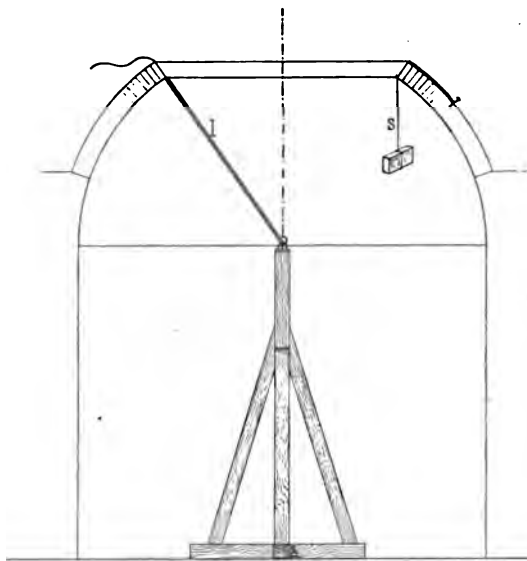
Die hauptsächlichsten Baumaterialien für Kuppelgewölbe der Jetztzeit sind gewöhnliche Backsteine, Hohl- oder Lochsteine, poröse Backsteine, Quader, lagerhafte, plattenförmige Bruchsteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein.

377.
Rüftungen.

Besondere Einrüstungen durch Lehrbogen mit Schalung werden wohl für größere aus Quadern oder Bruchsteinen zu wölbende Kuppeln in Anwendung gebracht. Bei Backsteinkuppeln, welche in über einander gelagerten Kranzschichten gemauert werden, ist eine derartige Einrüstung meistens nicht erforderlich.

Gehört die Laibung der Kuppel einer Kugelfläche an, so benutzt man beim Wölben die sog. Leier I (Fig. 566) von der Länge des Halbmessers des Kuppelgewölbes. Die Leier, eine Leiste oder Latte aus Tannenholz mit etwa 5 cm Durchmesser, ist am unteren Ende mit einem Haken in eine Oese gehängt, welche auf dem Kopfe eines fest stehenden Pfostens oder des Ständers eines Bockgerüsts genau im Mittelpunkte des Gewölbes angebracht ist.

Fig. 566.



Durch Drehen der Leier um diese Oefe wird die Lage der einzelnen Kranzschichten und die Richtung der Stofsflächen der Wölbsteine in einfachster Weise angegeben. Beim Wölben selbst muß, da vor dem vollständigen Schlusse des einzelnen Kranzringes, sobald die Neigung der unteren Lagerfläche zu groß wird, leicht ein Abgleiten der Wölbsteine eintritt, das Bestreben des Gleitens durch Verwendung eines guten, möglichst schnell bindenden Mörtels verhindert werden. In der Nähe des Gewölbefacheitels ist das Bestreben des Abgleitens am stärksten.

Das bessere Haften des einzelnen Wölbsteines einer zu vermauern-

den Kranzschicht auf seiner Lagerfläche wird zweckmäfsig durch eine besondere Belastung des immer zuletzt versetzten Steines unterstützt. An einem Nagel, der in einer tief gelegenen Fuge am Rücken des Gewölbes eingeschlagen ist, wird eine Schnur *s* befestigt. Das andere Ende dieser Schnur wird mit einem Gewichte, gewöhnlich mit einem Backstein verbunden. Die über den Wölbstein gelegte Schnur beschleunigt mittels des Gewichtes des frei im Inneren des Gewölbes herabhängenden Backsteines seine Mörtelvermittlung auf der Lagerfläche.

Sind beim Einwölben mehrere Arbeiter thätig, so wird von jedem derselben statt der Leierlatte eine an der Oefe des Ständers befestigte Schnur, auf welcher die Länge des Kugelhalbmessers genau bezeichnet ist, als Richtschnur für die Lager- und Stofsugen des Gewölbes benutzt.

Bei größeren Kugelgewölben, namentlich aber bei Kuppelgewölben, für deren Erzeugende der Mittelpunkt auferhalb der lothrechten Scheitelaxe der Gewölbfäche gewählt ist, werden Leier, bezw. Schnüre nicht gebraucht. An ihre Stelle tritt ein um die Scheitelaxe drehbarer, möglichst einfach hergerichteter Lehrbogen oder unter Umständen die Einrüstung durch eine Schar von radial gestellten Lehrbogen mit Schalung.

Bei der Verwendung der gewöhnlichen Backsteine, der Hohl- oder Lochsteine oder der porösen Backsteine zur Wölbung der Kuppeln ist unter der Voraussetzung, daß nur gutes Material benutzt wird, die der Gewölbfäche entsprechende richtige Stellung der Lager- und Stofsflächen beim Wölben der Kranzschichten streng zu beachten. Die durch Wasser angefeuchteten Steine werden mit gut und hinlänglich schnell bindendem Mörtel (verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel) versetzt. Da jeder Stein, genau genommen, doppelt keilförmig sein soll, so muß ein entsprechendes Zuhauen der Steine vorgenommen werden. Bei kleineren Gewölben ist dieses Zuhauen kaum zu vermeiden. Bei größeren Gewölben beschränkt sich das Zuhauen in der Regel nur auf die Stofsflächen der Ringschichten, da bei den Lagerflächen die keilförmige Ausgleichung oft schon durch die Mörtelfüllung erzielt werden kann. Im Ganzen soll aber bei sorgfältiger Ausführung dem fach-

378.
Kuppelgewölbe
aus
Backsteinen.

gemäßen Zurichten der Wölbsteine Rechnung getragen werden. In den meisten Fällen wendet man zur Erzielung richtiger Lager- und Stosfugenflächen am besten nur Binderfichten an, weil sonst, namentlich bei den Kränzen mit geringerem Durchmesser, die langen Seiten der Backsteine sich der Laibungsfläche des Gewölbes nicht gut anpassen können.

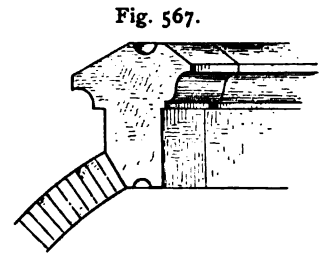
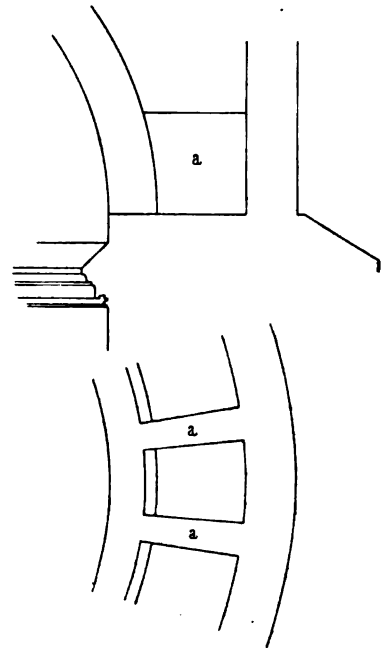


Fig. 567.

In der Nähe des Scheitels des geschlossenen Kuppelgewölbes wird das keilförmige Zuschärfen der in Binderfichten zu vermauernden gewöhnlichen Backsteine etwas mißlich. Zweckmäßiger verwendet man deshalb für die oberen Kranzschichten besonders gebrannte Keilsteine, so wie einen größeren, entsprechend geformten und gebrannten, oder auch aus einem Quader bearbeiteten Schlusstein.

Oben offene Kuppelgewölbe erhalten als Abchluß einen Lichtring. Hierfür werden die Wölbsteine, wie Fig. 567 zeigt, am besten aus gutem Quadermaterial angefertigt.

Fig. 568.

379.
Sporen.

Zur Vermeidung einer erheblichen Belastung des unteren Theiles eines größeren Kuppelgewölbes und seines Widerlagers durch volle Hintermauerung zwischen dem Rücken des Gewölbes und der Innenseite des etwa noch reichlich hoch über der Kämpferebene der Kuppel aufzumauernden Widerlagskörpers bringt man oft sog. Sporen an. Die zwischen diesen Sporen *a* (Fig. 568) entstehenden Hohlräume oder Zellen vermindern das Gewicht der eigentlichen Hintermauerung in erwünschtem Maße.

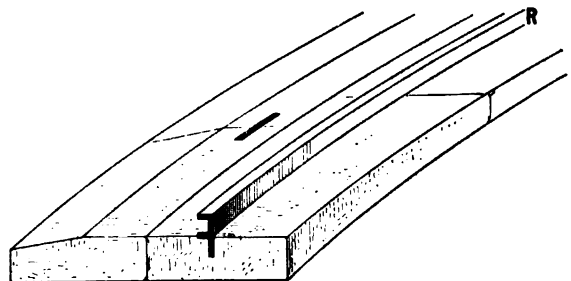
In gleicher Weise können solche Sporen am Fuße der Mauerung der Doppelkuppeln zwischen der äußeren und inneren Kuppelschale angebracht werden.

380.
Verstärkungs-
gurte.

Läßt man unter Beachtung gleich großer Theilweiten des Kuppelfußes rippenartig nach dem Scheitel oder dem Lichtkranz der Kuppel ansteigende Wölbstreifen mit größerer Stärke als die dazwischen liegenden Gewölbstücke besitzen, ausführen, so entstehen die sog. Verstärkungsgurte der Kuppel. In der Regel treten diese etwa durchweg $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein breiten Verstärkungsgurte um $\frac{1}{2}$ Steinstärke an der Rückenfläche des Gewölbes vor.

Als lehrreiches Beispiel eines Kuppelgewölbes mit Verstärkungsgurten und mit zweckmäßiger Einführung eines Fußringes zur Vernichtung des für den Widerlagskörper nachtheiligen wagrechten Gewölbschubes ist die über der kreisrunden Vorhalle des städtischen Bades zu Karlsruhe von *Durm*¹⁸⁹⁾ ausgeführte

Fig. 569.



¹⁸⁹⁾ Siehe: Zeitschr. f. Bauw. 1874, S. 123.

Kuppel mit Lichtring zu betrachten. In Fig. 569 ist für diese Kuppel die Anordnung des in einem Kranz von Sandsteinquadern eingelassenen, mit Blei vergossenen schmiedeeisernen Fußsringes *R* veranschaulicht.

Bei elliptischen Kuppelgewölben sind die Lagerfugenkanten der einzelnen Kranzschichten Ellipsen, welche durch Schnitte wagrechter Ebenen mit der Gewölbelaibung erhalten werden. Die Lagerfugenflächen der Wölbkranze bilden windschiefe Flächen, erzeugt durch gerade Linien, welche in jedem Punkte der zugehörigen Lagerfugenkante normal zur Oberfläche des Ellipsoids der Kuppel stehen und in Folge hiervon verschiedene Neigung zur wagrechten Ebene annehmen.

Beim Mauern der Wölbkranze kann übrigens das Windschiefe der Lagerflächen durch entsprechende Stärke der Mörtelfüllung ohne erhebliche Nachtheile für die Wölbung ausgeglichen werden.

Die Stoßfugenflächen liegen in Meridianebenen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe der elliptischen Kuppel geführt werden.

Um während der Ausführung elliptischer Kuppelgewölbe die richtige Bildung der Laibungsfläche und die genaue Stellung der Lager-, bzw. Stoßfugenflächen aufrecht zu erhalten, sind, von der lothrechten Hauptaxe der Kuppel strahlenförmig auslaufend, mehrere Lehrbogen aufzustellen, deren äußere Begrenzungslinien nach den ihnen zukommenden Meridianschnitten zu bestimmen sind.

Die Mauerung caffettirter Kuppelgewölbe in einzelnen Kranzschichten, wobei die Kranztheile der Caffetten nur in geringerer Stärke, als die Caffettenstege auszuführen sind, erfolgt wie bei den nicht caffettirten Kuppelgewölben.

Ist unter besonderen Verhältnissen bei diesen Gewölben eine vollständige Einrichtung mit Schalung nothwendig, so sind für die Caffetten Holzkasten als Hilfsrüstung auf der Schalung zu befestigen. Diese Holzkasten sind im Allgemeinen in der in Art. 163 (S. 234) beschriebenen Weise anzufertigen.

Die Ausführung der Hänge- oder Stutzkuppeln weicht von der Herrichtung der vorhin besprochenen Kuppelgewölbe nicht ab.

Besondere Beachtung verdienen jedoch die bei diesen über quadratischen, recht- oder vieleckigen Räumen eintretenden Stutzkuppeln in Frage kommenden Eckzwickel oder Pendentifs, deren Gestaltung in Art. 353 bis 355 (S. 505 bis 507) näher gekennzeichnet ist.

In aller Strenge ist der Fuß des Eckzwickels eine gerade Linie, wenn nicht, wie z. B. bei der Kuppel der Peters-Kirche in Rom, veranlaßt durch eine besondere Grundrissbildung der Widerlagskörper des Gewölbes, die Eckzwickel *z* nach Fig. 570 eine ausgebreitete Grundfläche erhalten.

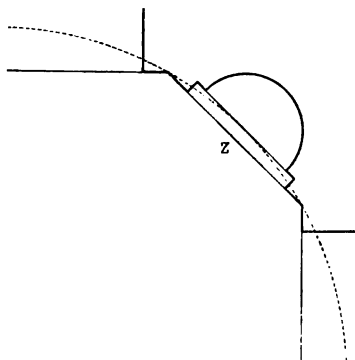


Fig. 570.

Zur Vermeidung des in einer Schneide auslaufenden Ansatzes der Eckzwickel wird auch bei Hängkuppeln aus Backsteinmauerwerk als Anfänger dieser Zwickel am besten ein größerer, regelrecht bearbeiteter Quader (Fig. 571) versetzt, welcher dem unteren Backsteinringe ein geeignetes Auflager bietet. Außerdem kann aber auch in nicht unzweckmäßiger Weise die Aufmauerung der Gewölbzwickel

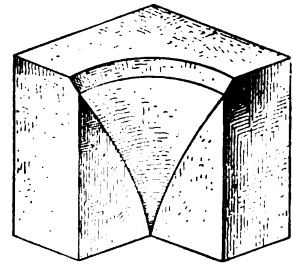
381.
Elliptische
Kuppeln.

382.
Caffettirte
Kuppelgewölbe.

383.
Hänge-
oder
Stutzkuppeln;
Pendentifs.

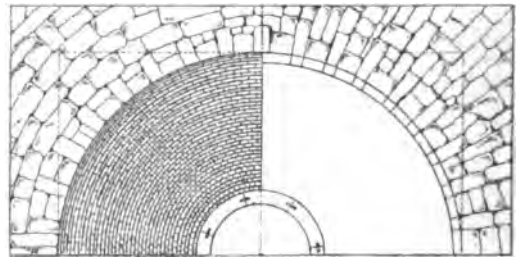
in wagrechten Schichten mit allmählicher, der Laibungsfläche des Gewölbes entsprechender Vorkragung, wie Fig. 572 angiebt, vorgenommen werden. Die Stoßfugenflächen dieser Zwickelmauerung werden nach lothrechten Meridianebenen der Kuppel geordnet. In dieser Weise wurden von *Moller* die Pendentifs der Kuppelgewölbe über den Treppenhäusern im Theater zu Mainz ausgeführt.

Fig. 571.



Vorkragungen *C* in wagrechten Schichten mit darüber gelegten, nach und nach vorgehobenen Mauerbogen *A, B* zeigt die Pendentif-Anordnung in Fig. 573. Hierbei entsteht zwischen der Aufmauerung *C* und dem unteren Mauerbogen *A* eine befonders zu schließende größere Fuge *h*. Zwischen dem höchsten Mauerbogen 1234 und dem hier aus Quadern angenommenen Fußkranze der nach Art. 354 (S. 506) gestalteten Oberkuppeln bleiben bei 2 im Grundrisse nur noch kleine Zwickelstücke, welche durch wagrechte Schichten mit Vorkragung oder durch Ringschichten geschlossen werden können.

Fig. 572.



Im Allgemeinen zeigt diese Herstellung der Pendentifs, welche in ähnlicher Weise z. B. bei den Kuppeln der Marcus-Kirche in Venedig vorkommt, einige Nachtheile. Der Schub der Mauerbogen *A, B* u. f. f. bewirkt für die Gurtbogen der Stirnseiten der Unterkuppel eine ungünstige Beanspruchung welche leicht eine Verdrückung und Verdrehung der Gurtbogen im Gefolge haben kann.

Wird zwischen den Pendentifs und der Oberkuppel der sog. Tambour, welcher als cylindrischer, röhrenförmiger Mauerkörper nur einen erhöhten Fuß für die Oberkuppel bildet, eingefügt, so setzt sich dieser Tambour unmittelbar auf die von den Pendentifs getragene erste Kranzschicht.

Die Einrüstung für das Wölben der Hängkuppeln kann, falls nicht sehr große Spannweiten in Betracht kommen, auf die in der Richtung der Diagonalen des zu überwölbenden Raumes aufzustellenden Lehrbogen beschränkt werden, nachdem zuvor am Mauerwerk der Stirnseiten die Stirnlinien der Kuppelfläche mit Kreide oder Kohle genau aufgezeichnet sind. Diese Stirnlinien geben in Gemeinschaft mit den Rückenlinien der Diagonal-Lehrbogen für geübte Maurer hinreichenden Anhalt für die regelrechte Ausführung des Gewölbes.

Gute und lagerhafte Bruchsteine, wenn deren einfache Bearbeitung ohne große Mühe zu erreichen ist, namentlich aber die leichteren Arten vulcanischer Tuffe können zur Herstellung der Kuppelgewölbe gebraucht werden.

Die Ausführung der Wölbung folgt den für Backsteinwölbung gegebenen Grundlagen. In den meisten Fällen wird bei Bruchsteinwölbung eine Einrüstung durch Lehrbogen mit Schalung erforderlich.

384.
Kuppel
mit
Tambour.

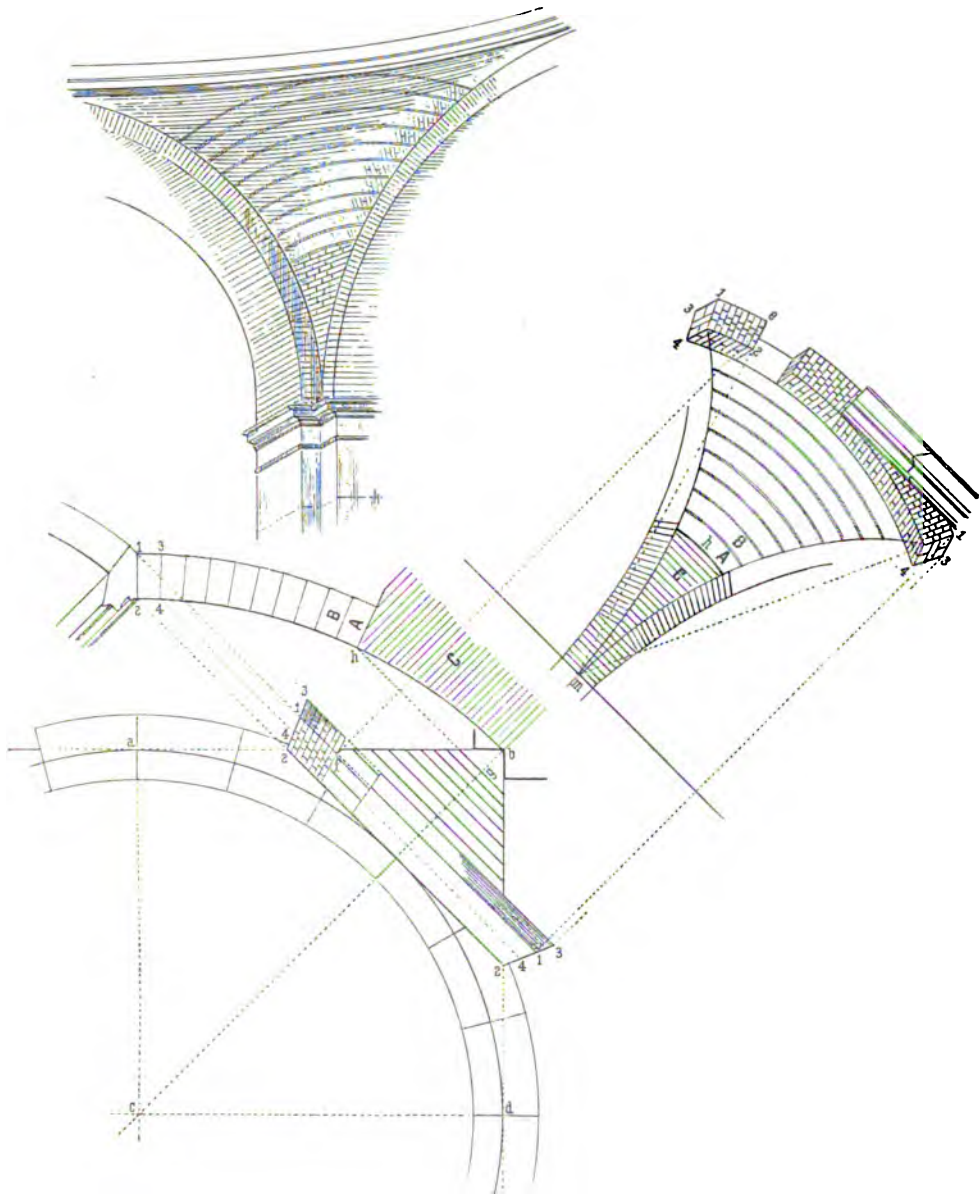
385.
Einrüstung.

386.
Kuppelgewölbe
aus
Bruchsteinen.

Kuppelgewölbe aus Quadern werden gleichfalls in über einander gelagerten Kranzschichten hergestellt. Die stets zu beachtende Bestimmung, wonach die Erzeugenden der Lagerflächen der Wölbsteine normal zur Laibungsfläche der Kuppel stehende gerade Linien sein sollen, während die Stoszfugenflächen in Meridianebenen

387.
Kuppelgewölbe
aus
Quadern.

Fig. 573.



liegen müssen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe des Gewölbes gelegt werden, bedingt den Fugenschnitt der Wölbquadern.

Die Stoszfugen sind bei den über einander liegenden Kränzen nach Fig. 574 in gegenseitigen, auf Kuf geordneten Verband zu bringen. Die Ausmittlung der

Brettungen der Kranzsteine ist nach den einfachsten Lehren der darstellenden Geometrie vorzunehmen. Außerdem ist die Bearbeitung der Wölbsteine nicht schwierig.

Die Ausführung der Wölbung, welche meistens unter Benutzung einer vollständigen Einrichtung mit Lehrbogen und Schalung erfolgt, ist im Allgemeinen

den vorhin gegebenen Regeln der Backsteinwölbung entsprechend.

Im Besonderen gelten für das Versetzen der Quader, für den zu verwendenden Mörtel u. f. f. die in Art. 170 (S. 246) beim Tonnengewölbe angeführten Vorschriften.

d) Nischen- oder Chorgewölbe.

388.
Allgemeines.

Die Laibungsfläche des Nischen- oder Chorgewölbes gehört im Allgemeinen einer Hälfte der durch eine lothrechte Meridianebene in zwei Theile zerlegten Kuppelfläche an. Die Anordnung und Ausführung der Nischengewölbe muß sich also im Wesentlichen nach den für das Kuppelgewölbe geltenden Regeln richten.

Abgesehen von den in Art. 220 (S. 328) bereits näher besprochenen, als Ecküberführungen behandelten Eck- oder Nischengewölben, welche übrigens in dem dort Angeführten auch die Grundlagen für die Ausmittlung der Wölbsteine aus Quadermaterial über halbkreisförmigem oder sonst krummlinig begrenztem Grundriss der

Nische bieten, werden grössere Nischen- oder Chorgewölbe nach dem Grundriss in Fig. 575 meistens in ihrer Stirnfläche gegen selbständig in entsprechender Stärke ausgeführte Mauerbogen oder Gurtbogen *a* gesetzt. Diese Abchluss- oder Stirnbogen dienen dabei der Stirnschnittfläche des Chorgewölbes unmittelbar als Widerlager.

389.
Ausführung.

Die Ausführung dieser Gewölbe, gleichgiltig ob Backstein-, Bruchstein- oder Quadermaterial benutzt wird, folgt genau den beim Wölben der Kuppeln gekennzeichneten Wegen.

Soll in besonderen Fällen bei größeren, aus Quadern herzustellenden Chorgewölben ein nach Fig. 576 gebildeter Fugenschnitt gewählt werden, welcher ohne Anwendung eines selbständigen Abchlussbogens die

Fig. 574.

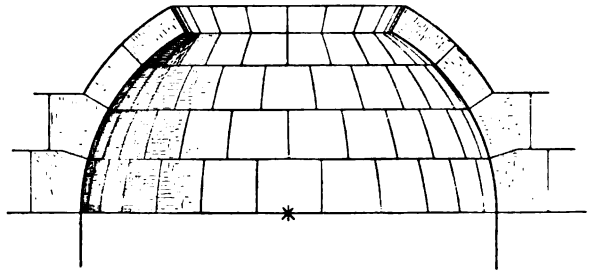


Fig. 575.

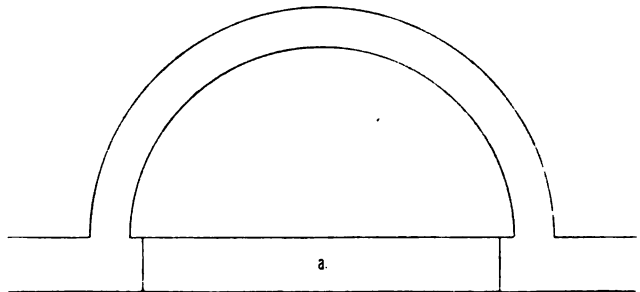
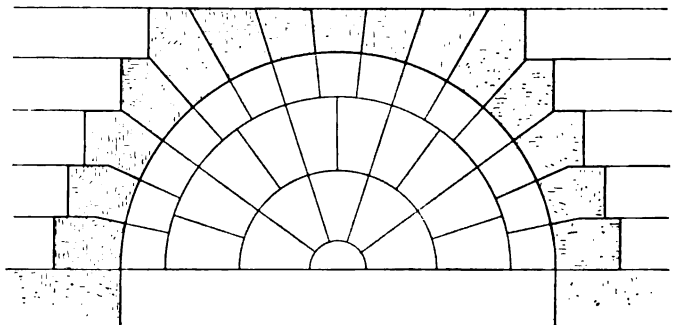


Fig. 576.



Wölbung ohne Einführung von Kranzschichten mit wagrechten Lagerkanten gestattet, so entspricht diese Anordnung hinsichtlich der Ausmittlung des Fugenschnittes im Allgemeinen dem in Art. 220 (S. 328) Vorgetragenen.

Sollen Chorgewölbe caffettenartig gegliedert werden, so ist das in Art. 382 (S. 529) Gefagte gleichfalls zu befolgen.

Eben so entsprechen ihre Stabilitäts-Untersuchung und die Bestimmung ihrer Gewölbstärke den hierüber beim eigentlichen Kuppelgewölbe gemachten Angaben.

17. Kapitel.

Böhmische Kappengewölbe.

a) Gestaltung der böhmischen Kappengewölbe.

Die Laibungsfläche des böhmischen Kappengewölbes entspricht derjenigen einer flachen Stütz- oder Hängekuppel. Im Gegensatz zum preussischen Kappengewölbe, dessen Wölbfläche einem Cylindermantel angehört, besitzt das böhmische Kappengewölbe eine sphärische oder sphäroidische Laibungsfläche.

390.
Form.

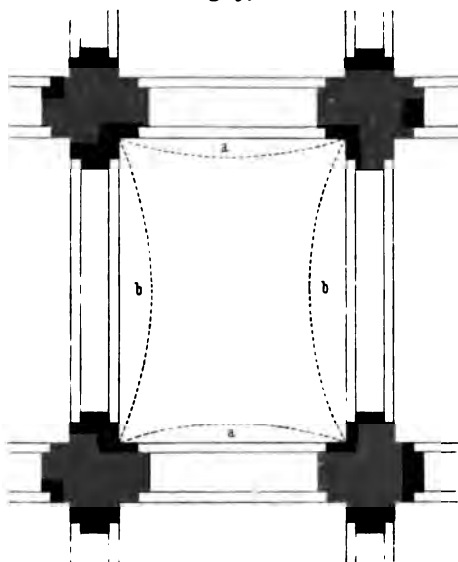
Fig. 577.



Das böhmische Kappengewölbe, auch böhmische Kappe, in Oesterreich Platzelgewölbe genannt, kann über regel- oder unregelmässig gestalteten Grundrissen in Anwendung kommen. Regelmässige Grundrisse haben aber die einfachere und schönere Entwicklung der Form dieser Gewölbe im Gefolge.

Das böhmische Kappengewölbe ist zur Herichtung einer massiven Decke mit geringer Pfeilhöhe und mässiger Stärke vorzüglich geeignet. In der Regel wird jedoch, um die Gewölbstärke nicht über $\frac{1}{2}$ Backsteinlänge zu steigern, die grösste Gewölbeweite selten über 5 m genommen. Die Pfeilhöhe wird zu $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$, meistens zu $\frac{1}{10}$ der Länge der grössten Diagonale der Grundrissfigur des zu überwölbenden Raumes gewählt.

Fig. 578.



Die Stirnbogen, also die an allen Umfangsmauern des Raumes auftretenden Kämpferlinien des böhmischen Kappengewölbes (Fig. 577) sind Flachbogen.

Hierdurch wird die Anlage von grösseren Thür- oder Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern erleichtert oder auch nach Fig. 578 bei mehrfach an einander gereihten Gewölben die Auflösung der Widerlagsmauern in Eckpfeiler mit dazwischen gespannten Gurtbogen, deren Wöblinien den Stirnbogen *a*, *b* zweckmässig angepasst werden, in einfacher Weise möglich.

Für die Darstellung der Laibungsfläche des böhmischen Kappengewölbes ist, abge-

391.
Darstellung.

fehen davon, ob ein Theil einer reinen Kugelfläche oder einer kugelförmigen Fläche als Wölbfläche eingeführt werden soll, die gegenfeitige Höhenlage der tiefsten Punkte der Kämpferlinien, also der Kämpfer- oder Fußpunkte des Gewölbes vorzuschreiben. Hierfür gelten folgende Annahmen: die sämtlichen Kämpferpunkte liegen in einer einzigen wagrechten Ebene, der eigentlichen Kämpferebene, oder die Kämpferpunkte liegen in verschiedenen wagrechten Ebenen. Sollen sämtliche Kämpferpunkte in einer schiefen Ebene liegen, so entsteht das steigende böhmische Kappengewölbe. Diefen Annahmen folgend soll die Gestaltung der Laibungsflächen des böhmischen Kappengewölbes näher besprochen werden.

a) Sämtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene.

392.
Kugelfläche.

Die Laibungsfläche soll einem Theile einer Kugelfläche angehören.

Läßt sich durch die sämtlichen Ecken der Grundriffsfigur des zu überwölbenden Raumes ein Kreis legen, welcher als Parallelkreis der ihrem Halbmesser nach noch näher zu bestimmenden Kugelfläche zu gelten hat, so gehört dieser Parallelkreis der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes an, und sämtliche Fußpunkte der Kämpferlinien sind Punkte dieses Parallelkreises.

Ist der Grundriß des Gewölbes ein Dreieck, ein Quadrat, ein Rechteck oder ein regelmäßiges Vieleck, so ist durch die Ecken der Grundriffsfigur stets ein Kreis zu beschreiben.

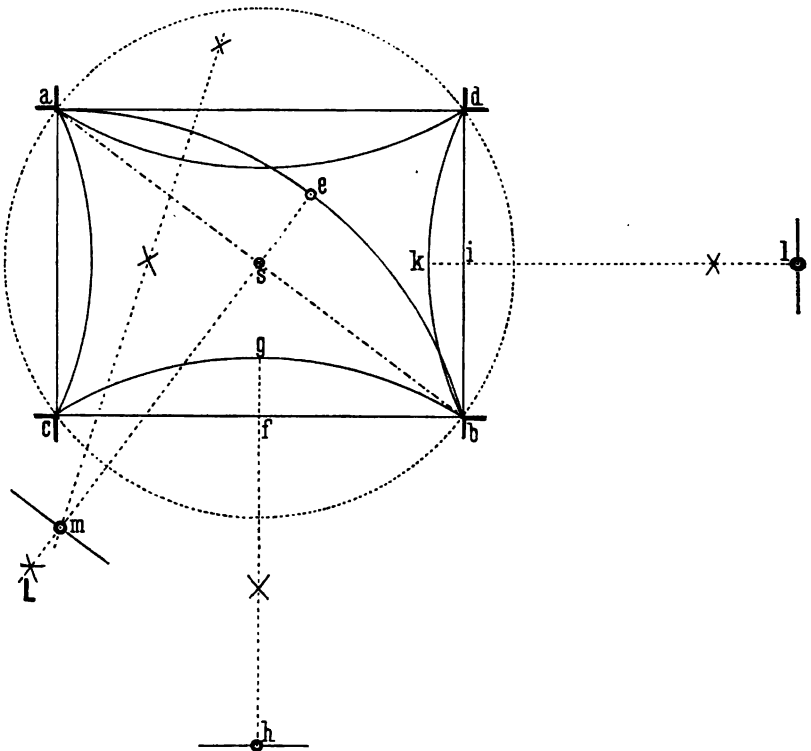
Fig. 579.

393.
Rechteckiger
Grundriß.

In Fig. 579 ist das Rechteck $abcd$ der Grundriß des Gewölbes und s der Mittelpunkt des durch die Ecken a, b, c und d gehenden Parallelkreises. Die beliebig durch s geführte, hier mit der Diagonalen ab sich deckende Gerade ab ist der Durchmesser dieses Parallelkreises irgend einer Kugelfläche.

Der Mittelpunkt dieser Kugelfläche liegt auf einer in s lothrecht auf der Ebene des Parallelkreises stehen-

den Geraden L . Trägt man die frei gewählte Pfeilhöhe se des Gewölbes auf dieser Lothrechten L ab, so hat man durch die 3 Punkte a, e, b einen Kreis zu legen, dessen Mittelpunkt m auf L in bekannter Weise zu ermitteln ist. Der Punkt m ist der Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher die Laibungsfläche des Gewölbes angehört. Der Kreisbogen aeb , der fog. Diagonalbogen des böhmischen Kappengewölbes, ist ein Theil des größten Kreises der ermittelten Kugelfläche. Die lothrechten Ebenen cb



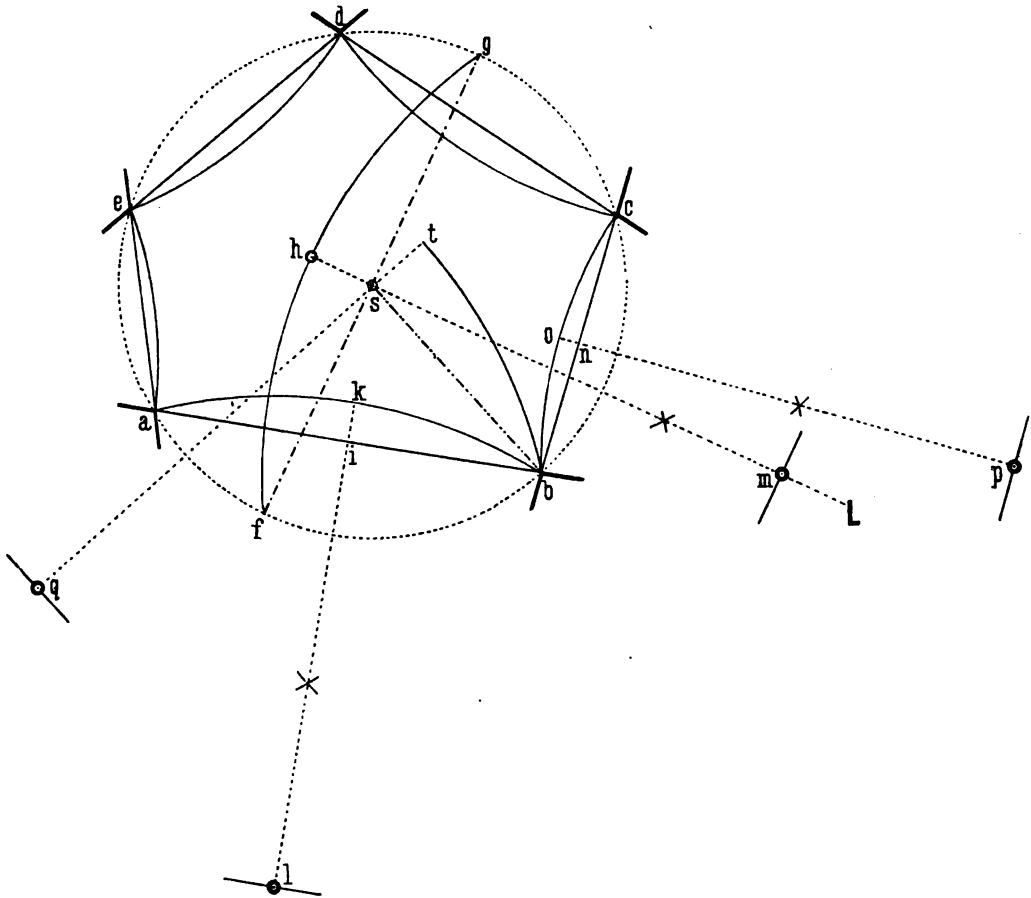
und bd der Widerlager des Gewölbes schneiden die Kugelfläche nach Kreisen, deren Theile cgb , bzw. bkd die Stirnlinien des Gewölbes an den langen Seiten cb, ad , bzw. an den kurzen Seiten bd, ca des rechteckigen Raumes werden. Errichtet man im Halbirungspunkte f der Seite cb das Loth fh , so ist, da der Mittelpunkt m der Laibungsfläche des Gewölbes von der wagrechten Kämpferebene den Abstand sm erhalten hat, die Länge $fh = sm$ auf dem Lothe fh abzutragen, um in h den Mittelpunkt für den Stirnbogen cgb zu bestimmen. Die Pfeilhöhe dieses Bogens ist fg .

Für die Ausmittlung des Stirnbogens bkd ist der gleiche Weg zu verfolgen. Hierbei ist $il = fh = sm$ zu nehmen, so daß l der Mittelpunkt, ik die Pfeilhöhe dieses Stirnbogens wird.

Ist die Grundriss-Projection des Gewölbes ein regelmäßiges Vieleck, so ist die Bestimmung der Kreisbogen für die Stirnlinien und Diagonalbogen, wie im vorhergehenden Artikel für das Rechteck gezeigt wurde, vorzunehmen. Diese Bestimmungen

394.
Vieleckiger
Grundriss.

Fig. 580.



sind auch beim unregelmäßigen Vieleck zu treffen, sobald, die gleiche Höhenlage der Kämpferpunkte vorausgesetzt, die Grundriss-Projection des Gewölbes die Führung eines durch sämtliche Ecken gehenden Kreises, wie in Fig. 580 angenommen ist, gestattet.

Dieser durch die Ecken des unregelmäßigen Fünfecks $abcde$ gelegte Kreis mit dem Mittelpunkte s ist der Parallelkreis der für die Laibung des Gewölbes fest zu legenden Kugelfläche.

Die beliebig durch s geführte Gerade fg ist als eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Sehne eines größten Kreises der Kugelfläche anzunehmen. Auf dem in s auf fg errichteten Lothe L

wird sh als gewählte Pfeilhöhe abgetragen und hiernach der Mittelpunkt m auf L für den durch die 3 Punkte f , h und g gehende Kreis bestimmt. Alsdann ist mh der Halbmesser der für die weitere Gestaltung des Gewölbes maßgebenden Kugelfläche.

Für den Stirnbogen der Seite ab ist das im Halbirungspunkte i auf ab errichtete Loth il gleich dem Abstände sm zu nehmen. Der um l mit dem Halbmesser la beschriebene Kreisbogen akb ist sofort der gefuchte Stirnbogen mit der Pfeilhöhe ik . Der Stirnbogen boe mit der Pfeilhöhe no hat den Mittelpunkt p . Die Länge des in n auf bc errichteten Lothes np ist wiederum gleich $sm = il$.

In gleicher Weise sind die Stirnbogen sämtlicher Seiten des Gewölbes auszutragen. Für irgend einen, z. B. von s nach der Ecke b ziehenden Wölbogen ist auf dem in s auf bs errichteten Lothe die Strecke $sq = sm$ zu nehmen, um diesen Wölbogen in dem mit dem Halbmesser qb um q beschriebenen Kreisbogen bt , dessen Pfeilhöhe st offenbar gleich sh werden muß, zu erhalten.

395.
Kugelförmige
Fläche.

Läßt sich durch die Ecken der vieleckigen Grundrifs-Projection des böhmischen Kappengewölbes kein Kreis legen, sollen aber dennoch die sämtlichen Fußpunkte der Stirnlinien des Gewölbes in einer wagrechten Kämpferebene bleiben; so ist die Gewölbelaubung wesentlich nur als kugelförmige Fläche zu gestalten.

In Fig. 581 sind die Grundzüge für das Austragen der Stirnbogen, bzw. der vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes ziehenden Wölbogen bei dem als unregelmäßiges Viereck $abcd$ angenommenen Grundriffe enthalten.

Zunächst wird die wagrechte Projection s des Scheitelpunktes des Gewölbes bestimmt. In der Regel wählt man hierfür den Schwerpunkt der Grundrifsfläche. Nimmt derselbe jedoch eine Lage an, welche für die von ihm nach den Ecken a, b, c, d gezogenen Strahlen von einander sehr stark abweichende Längen ergeben würde, so verlegt man den Punkt s zur Ausgleichung dieser Längenunterschiede in entsprechender Weise.

Sodann legt man die Stirnlinien des Gewölbes auf folgendem Wege fest. Sämtliche Stirnlinien sind flache Kreisbogen. Ihre Pfeilhöhen stehen im geraden Verhältnisse zu ihren Sehnenlängen. Man wählt für irgend eine Seite, z. B. ad , einen flachen Kreisbogen mit der Pfeilhöhe re . In einem Hilfsplane wird unter Benutzung der Schenkel eines beliebigen, hier rechten Winkels qoq' ein Stück or gleich der halben Länge ar der Seite ad auf dem einen Schenkel oq , die Strecke or' gleich der Pfeilhöhe re der Stirnlinie der Seite ad dagegen auf dem anderen Schenkel oq' abgetragen und die gerade Linie rr' gezogen. Zur Bestimmung der Pfeilhöhe rf der Stirnlinie der Seite ab wird dieselbe im Punkte r halbiert, die Länge az von oz auf dem Schenkel oq abgetragen und durch den Endpunkt z dieser Strecke eine Parallele zz' zu rr' geführt. Der Abschnitt oz' des Schenkels oq' giebt die gefuchte Pfeilhöhe zf der Stirnlinie der Seite ab . Diese Stirnlinie ist der durch die 3 Punkte a, f und b gelegte Kreisbogen.

Die Stirnlinien der übrigen Seiten bc und cd sind nach demselben Verfahren zu zeichnen.

Von weiterer besonderer Bedeutung für die Gestaltung der Laibungsfläche des Gewölbes ist die passende Wahl der durch den höchsten Punkt irgend einer Stirnlinie und den Gewölbscheitel gehenden Wöblinie. Zweckmäßig wird hierfür ein Kreisbogen gewählt; seine Pfeilhöhe ist größer zu nehmen, als die bereits bestimmte Pfeilhöhe des weitesten Stirnbogens anzeigt.

Je nachdem nun von vornherein eine bestimmte Pfeilhöhe für das Gewölbe vorgeschrieben ist oder nicht, können folgende Bestimmungen für die durch den Gewölbscheitel gehende Wöblinie getroffen werden.

Bleibt der Gewölbepfeil noch willkürlich, so legt man der Richtung der längsten Seite der Grundrifsfigur, z. B. cd , entsprechend, eine Gerade A durch s und durch den Halbirungspunkt r oder z der mit dieser längsten Seite zusammentreffenden Seiten da oder cb . In der Zeichnung ist der Punkt r angenommen. Die Gerade A soll in der wagrechten Kämpferebene liegen und als Spur einer lothrechten Ebene angesehen werden, welche in ihrem Schnitte mit der Gewölbfläche die vorhin erwähnte Wöblinie als Kreisbogen liefern soll.

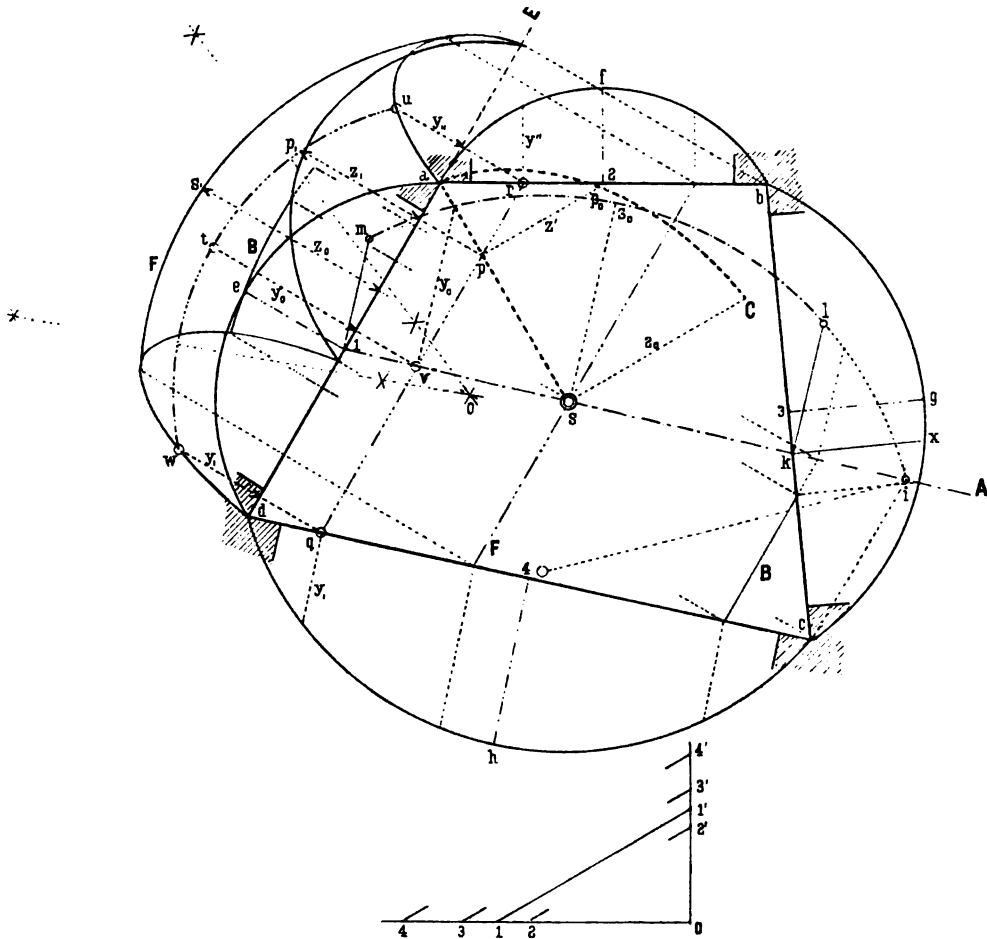
Die Ebene schneidet den Stirnbogen der Seite ad in e und den Stirnbogen der Seite bc in x . Errichtet man in r und z Lothe auf A , nimmt man $rm = re$ und $kl = kx$, so sind m und l zwei feste Punkte der gefuchten, bis zur Kämpferebene niedergedrehten Wöblinie. Projicirt man parallel zur

Seite ad den Endpunkt c der längsten Seite cd nach i auf A , so ist hierdurch ein dritter Punkt dieser Wölblinie bestimmt. Der durch die 3 Punkte m , l und i gelegte Kreisbogen stellt sie fest; ss_0 ist ihre Pfeilhöhe.

Wird dagegen die Pfeilhöhe dieser Wölblinie vorweg angenommen, so hat man in s auf A das Scheitelloth zu errichten und auf diesem die gegebene Pfeilhöhe abzutragen. Der durch die beiden festen Punkte m , l und durch den höchsten Punkt des Scheitellothes gelegte Kreisbogen, welcher natürlich hierbei vom Punkte i unabhängig ist, wird alsdann die gefuchte Wölblinie in der in A stehenden lothrechten Ebene.

Mit Hilfe der Stirnlinien und der Wölblinie ml , bzw. ms_0l kann die weitere Ausmittlung der Gewölbelaibung vorgenommen werden.

Fig. 581.



Legt man durch den beliebigen Punkt v der Geraden A parallel zur Seite ad , welche als Ausgangsseite für die zeichnerischen Darstellungen gewählt wurde, eine lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur qr , so erzeugt dieselbe auf der Laibungsfläche den Schnitt wtu , welcher als der durch die 3 Punkte w , t und u geführte Kreisbogen mit dem Mittelpunkte o bestimmt werden kann. Die Punkte w , t und u sind ihrer Lage nach bekannt. Für w ist $dw = y_1$ des Stirnbogens dhc ; für t ist $rt = y_0$ der Wölblinie ms_0l , und für u ist $ut = y_2$ des Stirnbogens afb maßgebend. Auf demselben Wege sind auch die Kreisbogen F und B für die parallel zur Seite ad aufgestellten lothrechten Ebenen mit den im Grundrisse gezeichneten wagrechten Spuren F , bzw. B leicht zu ermitteln.

Eben so einfach ist ferner das Austragen irgend einer vom Gewölbescheitel nach einer Gewölbecke ziehenden Wölblinie. Die Bogenlinie C ist für die Richtung sa eingetragen. Für dieselbe ist die Länge

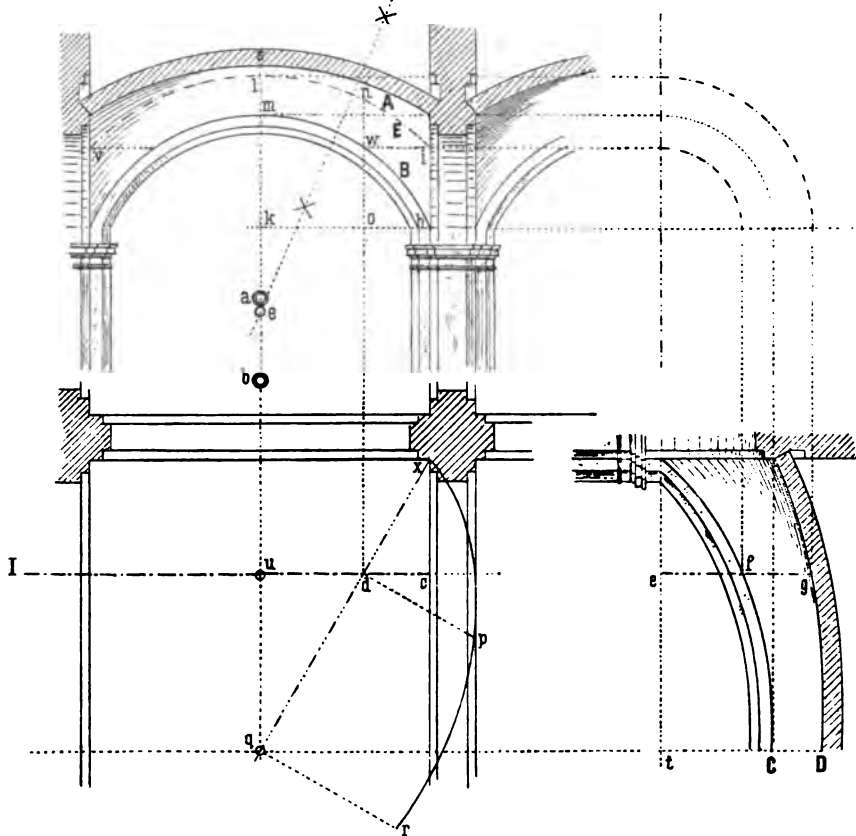
des in s auf as errichteten Lothes $sC = ss_0$, die Länge der in p auf as senkrecht stehenden Linie pp_0 gleich der Ordinate z , der Schnittlinie wtu u. f. f. Für die Bogenlinien nach sb, sc u. f. f. gelten dieselben Maßnahmen. Mittels lothrechter, parallel zu ad aufgestellter Ebenen werden die zugehörigen Schnittlinien der Laibungsfläche fest gelegt und hiernach einzelne Punkte dieser gefuchten Bogenlinie ermittelt.

396.
Gleich hohe
Stirnbogen:
Anordnung
I.

Wird bei rechteckigem Grundrisse des böhmischen Kappengewölbes die Forderung gestellt, alle Stirnbogen mit gleicher Pfeilhöhe einzuführen, so kann die kugelförmige Gestaltung der Laibungsfläche nach Anleitung von Fig. 582 bewirkt werden.

Der Stirnbogen der schmalen Rechtecksseite sei der um a beschriebene flache Kreisbogen B mit der Pfeilhöhe km . Der Stirnbogen C der langen Seite erhält dieselbe Pfeilhöhe $tC = km$. Dieser Stirnbogen C ist ein Stück einer Ellipse, wofür einzelne Punkte, z. B. f , auf bekanntem, auch aus der

Fig. 582.



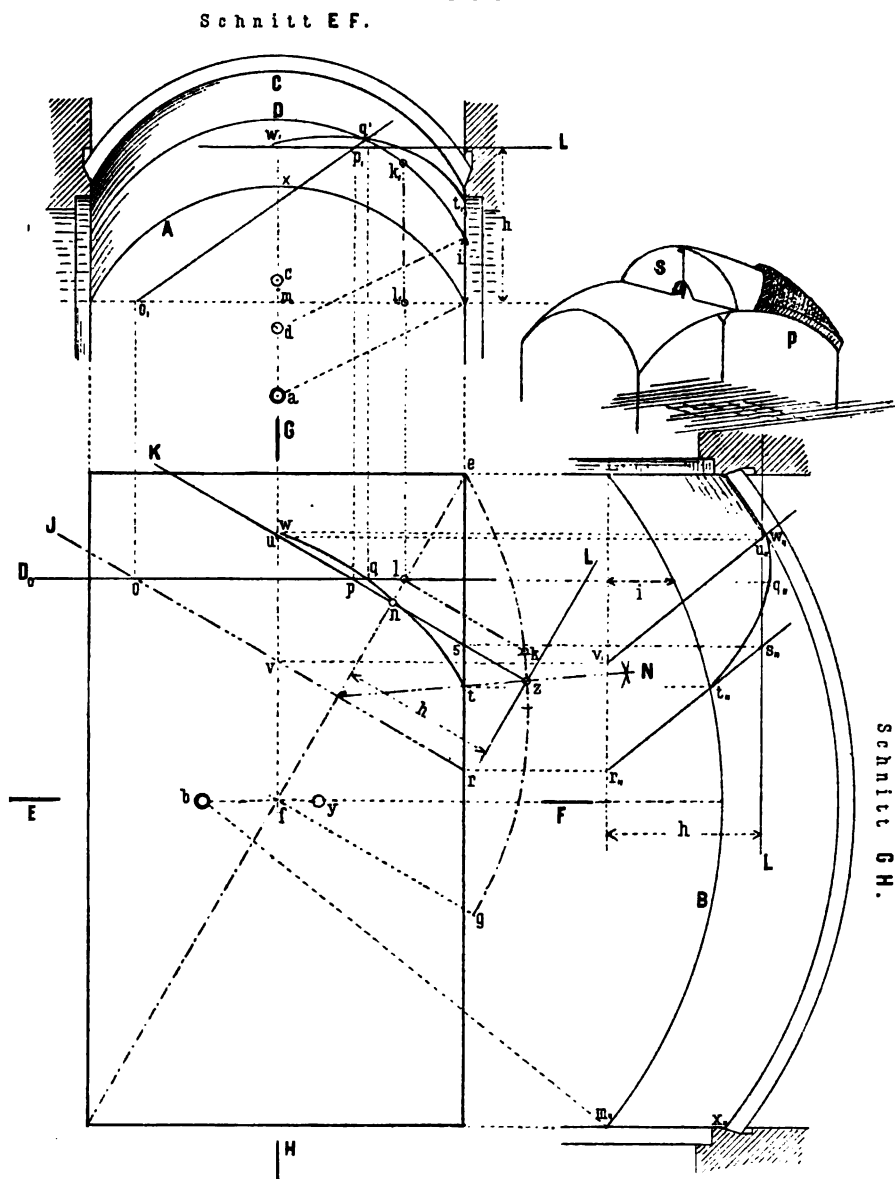
Zeichnung zu erfahenden Wege gefunden werden können. Die Wölblinie der durch den Scheitel s , dessen wagrechte Projection in der Kämpferebene der Punkt q ist, parallel zur schmalen Rechtecksseite geführten lothrechten Ebene sei der um b beschriebene Kreisbogen A , während die Wölblinie D in der durch den Gewölbscheitel parallel zur langen Rechtecksseite geführten lothrechten Ebene als flacher Kreisbogen, wobei jedoch $tD = ks$ und die Höhenlage des Anschlußpunktes an der schmalen Stirnseite gleich der Höhe tC über der Kämpferebene sein muß, gewählt werden möge. Nach diesen gegebenen Bestimmungsstücken läßt sich die kugelförmige Laibung des Gewölbes in folgender Weise ermitteln.

Man führt an beliebiger Stelle parallel zur Ebene des Stirnbogens B eine lothrechte Ebene I durch die Gewölbsfläche. Dieselbe schneidet die Stirnbogen C der langen Rechtecksseiten in f . Die Ordinate dieses Punktes ist ef .

Wird durch f eine wagrechte Ebene gelegt, so erhält man in der Aufriss-Projection unterhalb A die Punkte i und v . Die Ebene I schneidet die Scheitellinie D in g . Trägt man eg von k nach l , so

kann man durch die 3 Punkte i, l, v einen Kreisbogen E mit dem Mittelpunkte e legen, welcher als Erzeugende der kugelförmigen Laibung des Gewölbes für die Ebene I auftritt. Genau so sind für verschiedene, parallel zur schmalen Rechtecksseite aufgestellte lothrechte Ebenen die zugehörigen Wöblinien oder Erzeugenden der Wöblfläche zu bestimmen. Für das Austragen des Diagonalbogens rx über qx ist sofort $qr = ks$ und $dp = on$, wie aus der Zeichnung zu ersehen, zu verwenden.

Fig. 583.



Eine zweite Art der Gestaltung kugelförmiger Gewölbelaibung für böhmische Kappengewölbe, deren Stirnbogen gleich große Pfeilhöhen erhalten sollen, kann bei rechteckigem Grundrisse in vorteilhafter Weise nach Fig. 583 zur Anwendung kommen.

397.
Anordnung
II.

Die Stirnbogen der Rechtecksseiten sind als flache Kreisbogen A , bzw. B mit gleicher Pfeilhöhe mx gewählt. Lässt man den Stirnbogen A , stets in einer loth-

rechten Ebene parallel mit der schmalen Rechtecksseite bleibend, auf den Stirnbogen B der langen Seiten stetig vorrücken, wie der Plan P mit der Scheibe S , deren obere Begrenzung dem Stirnbogen A entsprechen würde, näher angeht, so entsteht eine besondere Gewölbelaubung, deren Eigenschaften für die Ausführung des böhmischen Kappengewölbes nicht ungünstig sind.

Eben so hätte man auch umgekehrt den Stirnbogen der langen Rechtecksseite zur Erzeugung der Laibungsfläche benutzen können.

Zur weiteren Ausmittlung der Bestimmungstücke dieser Gewölbelaubung ist das Nöthige sofort aus der Zeichnung zu entnehmen.

Der Schnitt in der Richtung EF giebt als Scheitellinie den Kreisbogen C gleich dem Kreisbogen A . Der Abstand ac dieser beiden Bogen ist gleich der Pfeilhöhe mx der Stirnbogen überhaupt. Im Schnitte nach GH ist die Scheitellinie ein Kreisbogen, dessen Halbmesser yx , gleich dem Halbmesser bm , des Stirnbogens B ist. Der Abstand by der beiden Mittelpunkte ist gleich $mx = m, x$.

Ein Schnitt in der Richtung D_0 liefert den Kreisbogen D mit dem Halbmesser $di = ax$. Der Abstand ad der Mittelpunkte der beiden Kreisbogen A und D ist durch die Ordinate i des Stirnbogens B im Schnitte GH zu bestimmen.

Der Diagonalbogen ge über fe wird durch Ordinaten, wie $fg = mC$, $lk = l, k$, u. f. f., unter Verwerthung des Schnittes EF leicht fest gelegt.

Führt man durch einen beliebigen Punkt z des Diagonalbogens ge eine Normalebene mit den Spuren N und \mathcal{Y} , so erhält man auf dem aus der Zeichnung zu erkennenden Wege, welcher auch bereits z. B. in Art. 305 (S. 444) bei Fig. 508 angegeben ist, die wagrechte Projection t, n, q, w und die lothrechten Projectionen t', q', w' , bzw. t'', q'', w'' , der Schnittlinie, welche diese Normalebene auf der Gewölbelaubung hervorruft.

Bei der Besprechung der Ausführung des böhmischen Kappengewölbes (unter c) werden diese Schnittlinien noch weitere Berücksichtigung finden.

398.
Ellipsoidische
Fläche.

Statt der reinen Kugelfläche oder der kugelförmigen Fläche kann die Laibung des böhmischen Kappengewölbes auch eine ellipsoidische Fläche sein.

Wird die in einer wagrechten Ebene angenommene Ellipse G (Fig. 584) mit der halben großen Axe mo und der halben kleinen Axe ml , wie dies meistens der Fall, um ihre feste große Axe gedreht, so entsteht eine ellipsoidische Umdrehungsfläche. Jeder Punkt l, l u. f. f. der erzeugenden Ellipse bewegt sich während der Drehung auf einem Kreise. Berücksichtigt man nur die oberhalb der wagrechten Meridianebene nE liegende Hälfte dieser Umdrehungsfläche, so kann dieselbe für die Gestaltung des böhmischen Kappengewölbes mit ellipsoidischer Laibung ohne Schwierigkeit benutzt werden.

Legt man parallel zu den Halbachsen mo und ml die Seiten eines Rechteckes $abcd$ als Grundrissfigur des Gewölbes in der Weise ein, daß die Ecken a, b, c, d nicht in die Ellipse fallen, sondern von m gleichen Abstand $ma = mb = mc = md$ erhalten, so werden die in den Rechtecksseiten aufgestellten lothrechten Stirnebenen des Gewölbes die ellipsoidische Umdrehungsfläche nach bestimmten Stirnlinien schneiden, und der oberhalb dieser Stirnlinien verbleibende Theil der Umdrehungsfläche ist die zu verwendende Gewölbfläche.

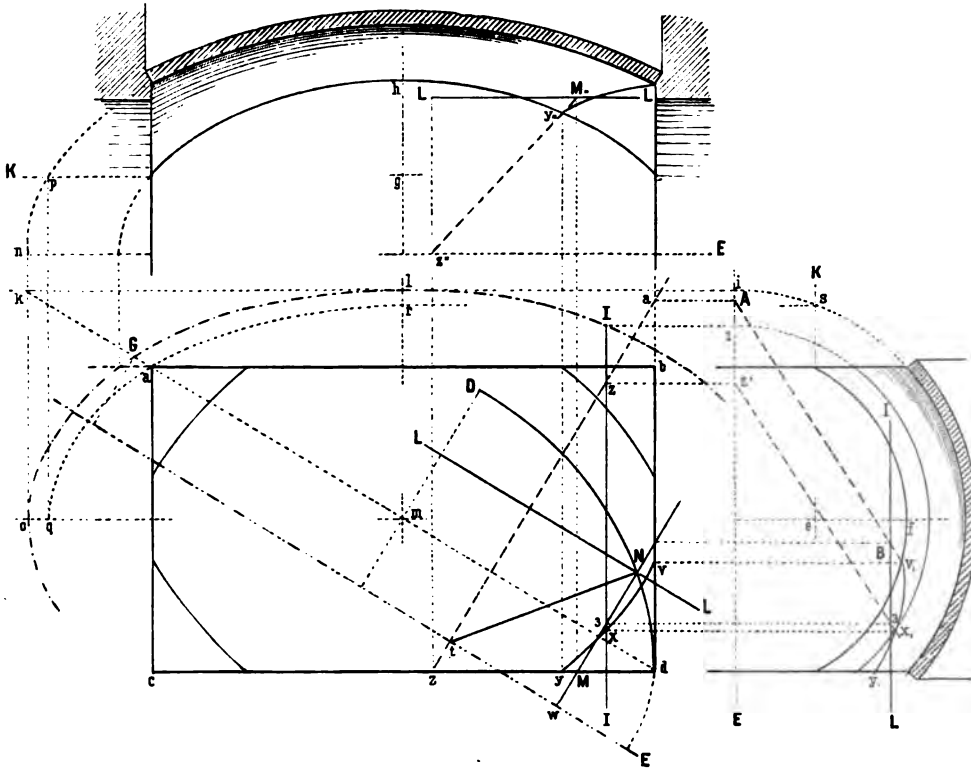
Ist $abcd$ das gegebene Rechteck, so sei für die schmale Rechtecksseite bd , bzw. ac ein flacher Kreisbogen mit der Pfeilhöhe ef in Rücksicht auf die Kämpferebene gewählt. Die Scheitellinie in der lothrechten Ebene ml ist als ein zum Stirnbogen concentrischer Kreisbogen zu nehmen. Gehörig erweitert, trifft diese Scheitellinie die Kämpferebene K in s und die wagrechte Meridian- oder jetzt die Grundebene in i . Erweitert man in der Grundebene die Diagonale da des gegebenen Rechteckes, zieht man durch i die Gerade ik parallel zu ab und hierauf ko parallel zu ac ,

so erhält man in ml die halbe kleine Axe und in mo die halbe große Axe der erzeugenden Ellipse G , welche hiernach in der Meridianebene der Umdrehungsfläche gezeichnet werden kann. Nunmehr sind alle Stücke gegeben, um die ellipsoidische Laibung des Gewölbes zu bilden.

Der Stirnbogen der Seite ab ist ein leicht darzustellendes Ellipsenstück mit der Pfeilhöhe $gh = ef$. Die Scheitellinie in der Richtung mo entspricht der erzeugenden Ellipse. Aus der Zeichnung ist hierfür das Nähere sofort ersichtlich.

Auch der Diagonalbogen D gehört einem Ellipsenstücke an. Die halbe große Axe für die erforderliche Ellipse des Diagonalbogens ist gleich mG , und die halbe kleine Axe ist wiederum gleich ml .

Fig. 584.



Der für den Diagonalbogen D gezeichnete Normalschnitt der Normalebene mit den Spuren Nt und ta liefert auf der Gewölbfäche die Curve, deren wagrechte Projection vxy und deren lothrechte Projection v, x, y , in bekannter Weise mit Hilfe der lothrechten Schnitte nach bd , II und ab , so wie der wagrechten Geraden L , wie aus der Zeichnung hervorgeht, zu finden ist.

Bemerkt sei noch, daß in der Kämpferebene durch die Ecken a, b, c, d eine Ellipse gelegt werden kann, deren halbe große Axe in mq , deren halbe kleine Axe in mr erhalten wird.

β) Die Kämpferpunkte liegen in verschiedenen wagrechten Ebenen.

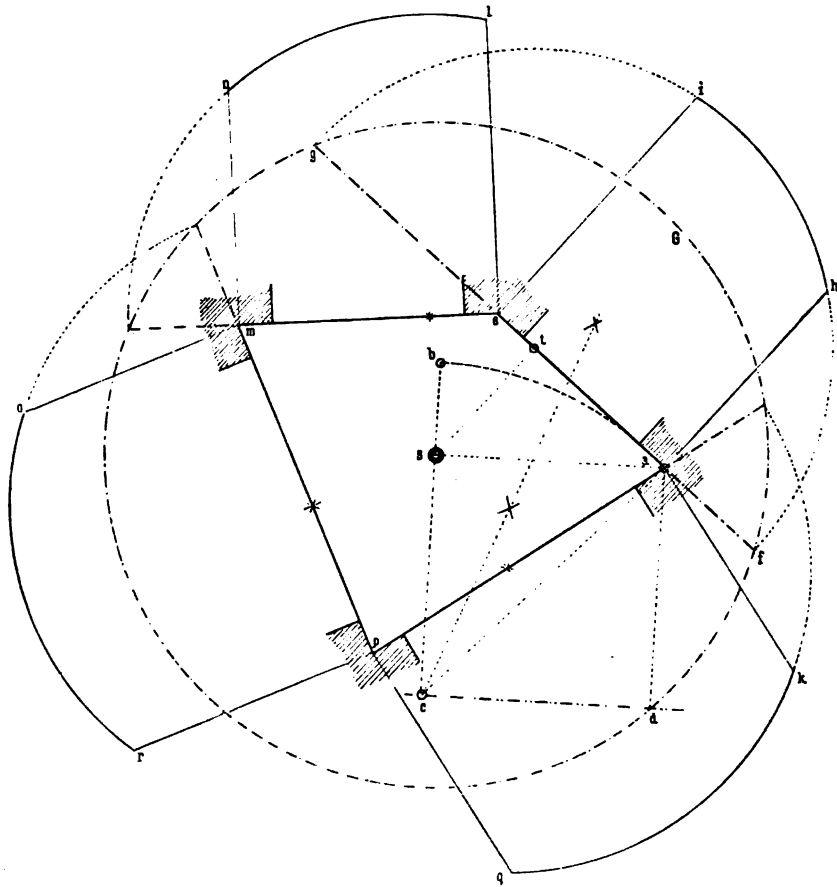
Böhmische Kappengewölbe mit ungleich hoch gelegenen Fußpunkten der Stirnlinien zeigen meistens kein schönes Aussehen. Ist man genöthigt, über unregelmäßigen Grundrissen mehr untergeordneter Räume das böhmische Kappengewölbe als Raumdecke zu verwenden, so ist es angezeigt, einen Theil der reinen Kugelfläche als Laibungsfläche des Gewölbes zu benutzen und von der ellipsoidischen Fläche ganz abzustehen.

399.
Kugelfläche.

In diesem Falle ist die Ausmittlung der Stirnlinien und der vom Scheitelpunkte nach den Fußpunkten dieser Stirnlinien gerichteten Wölblinien in einfacher Weise nach Fig. 585 vorzunehmen.

Das unregelmäßige Viereck $aemp$ sei der Grundriß des Gewölbes. Der Schwerpunkt s der Grundrißfläche möge die wagrechte Projection des Gewölbescheitels sein. Die Wölblinie ab , welche vom Fußpunkte a bis zum Gewölbescheitel zieht, ist als Kreisbogen bei der angenommenen Pfeilhöhe sb um c als Mittelpunkt, der auf der gehörig verlängerten Geraden sb liegt, mit dem Halbmesser ca beschrieben. Dieser

Fig. 585.



Halbmesser wird, sobald seine Größe nicht kleiner, als die Länge irgend eines anderen Eckstrahles sm oder sp u. f. f. ist, sofort auch als Halbmesser der Kugelfläche, welcher die Laibung des Gewölbes entnommen werden soll, beibehalten. Der um s mit dem Halbmesser ca beschriebene Kreis G ist der in der wagrechten Grundebene cd liegende größte Kreis der Kugel.

Würde derselbe zum Theile in die Grundrißfigur fallen, so müßte die Pfeilhöhe sb der Wölblinie ab entsprechend verkleinert werden.

Der Mittelpunkt der Kugel liegt in einem lothrechten Abstände sc unter der durch a geführten wagrechten Ebene.

Um den Stirnbogen der Seite ae auszutragen, erweitert man ae , bis der größte Kreis G in f und g geschnitten wird. Der um t beschriebene Halbkreis $ghif$ ergibt in hi die gesuchte Stirnlinie. Der Punkt t ist bekanntlich auch der Fußpunkt des von s auf ae gefällten Lothes.

Auf demselben Wege sind die sämtlichen Stirnlinien zu ermitteln. Die Seiten ae , em u. f. f. können für die einzelnen Stirnlinien ohne Weiteres als in der Grundebene G liegend betrachtet werden, so daß $ah = ad = ak$, $ei = el$, $mn = mo$, $pr = pq$ gefunden und hiernach die gegenseitige Höhenlage der Fußpunkte der an den Ecken des Gewölbes zusammentretenden Stirnlinien bestimmt wird. Die Wöblinien über se und sm sind gleichfalls mit Hilfe des größten Kreises G auf dem beschriebenen Wege zu erhalten.

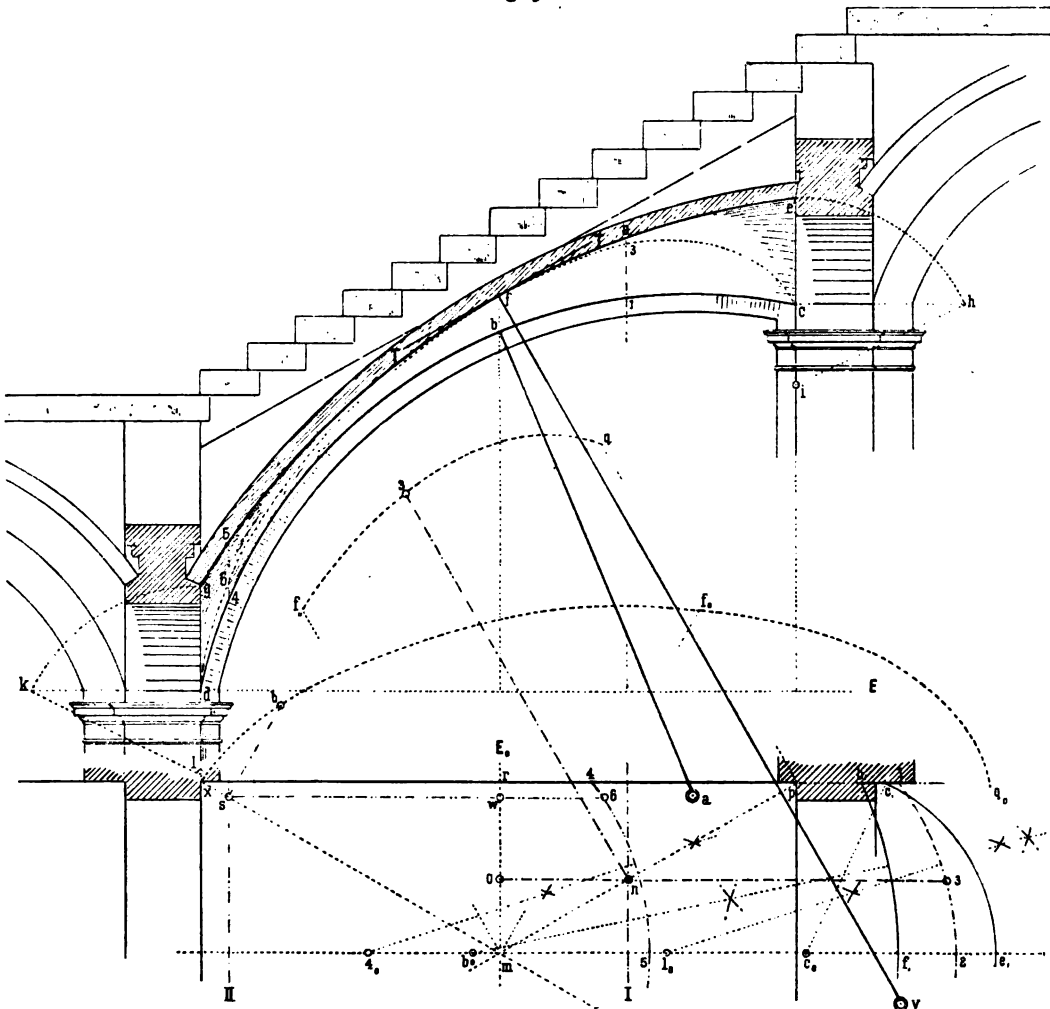
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer schiefen Ebene.

Bei ansteigenden böhmischen Kappengewölben, welche meistens nur über rechteckigem oder quadratischem Gewölbefelde ausgeführt werden, liegen die Fußpunkte der beiden ansteigenden Stirnbogen in einer schiefen Ebene, während die Fußpunkte der anderen beiden Stirnbogen je für sich in einer wagrechten Ebene enthalten sind. Die Laibungsflächen dieser Gewölbe werden kugelförmig gestaltet.

Entsprechend der für die Hauptscheitellinie ge fest gelegten Tangente TT , deren Richtung einer vorweg bestimmten Steigungslinie, z. B. derjenigen eines

400.
Steigende
böhmische
Kappen:
Anordnung
I.

Fig. 586.



Treppenlaufes in Fig. 586, zugewiesen ist, wird auf dem in f auf TT errichteten Lothe fv der Punkt v aufgesucht, welcher als Mittelpunkt für den durch den festen Punkt g und den Berührungspunkt f gehenden Kreisbogen gfe gilt. Der Punkt f ist vorweg als lothrechte Projection des Schnittes m der Diagonalen des rechteckigen Gewölbefeldes auf TT zu bestimmen. Der Punkt g ist seiner Lage nach durch den gewählten Stirnbogen gk mit dem Halbmesser lk und der Pfeilhöhe dg bekannt.

Der Scheitlbogen gfe trifft die Stirnseite ie in e . Dieser Punkt ist Scheitelpunkt des Stirnbogens an der oberen schmalen Rechtecksseite. Dieser Stirnbogen besitzt, wie der Bogen gk , die Pfeilhöhe $ec = dg$ und den Halbmesser $ih = lk$. Durch die Punkte d und c sind die Fußpunkte der ansteigenden Stirnlinie des Gewölbes nunmehr gegeben. Wählt man auf der Lothrechten mf die an sich sonst beliebige Höhe bf derart, daß b mäfsig tiefer als c fällt, so ist durch die 3 Punkte c, b, d der als ansteigende Stirnlinie auftretende Kreisbogen zu legen. In der Zeichnung ist a sein Mittelpunkt.

Hierdurch sind alle für die Gestaltung des ansteigenden böhmischen Kappengewölbes mit kugelförmiger Laibung erforderlichen Grundlagen geschaffen. Von Wichtigkeit ist das Austragen der Wöblinien oder Diagonalbogen über xm und pm .

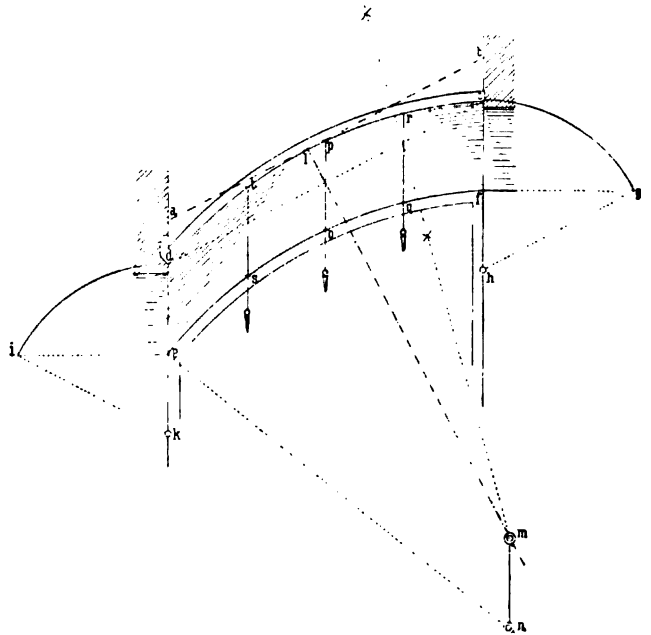
Legt man parallel zu den schmalen Stirnseiten durch den Schnitt m der Diagonalen eine lothrechte Ebene, deren wagrechte Spur E_0 ist, so schneidet dieselbe den Stirnbogen cd in b und den Scheitlbogen ge in f . Nimmt man im Grundrisse rb , gleich der lothrechten Entfernung des Punktes b von der im Aufrisse gezeichneten wagrechten Linie E und eben so mf , gleich der lothrechten Entfernung des Punktes f von der Linie E , so kann man unmittelbar im Grundrisse auf der die Breite des Gewölbefeldes halbirenden Geraden mf , den Mittelpunkt b_0 des durch b und f gehenden Kreisbogens bestimmen. Dieser Kreisbogen ist in die wagrechte Ebene niedergelegt und giebt die Hälfte der Wöblinie, welche für die in E_0 aufgestellte lothrechte Ebene in Frage kommt. Für die lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur I ergeben sich im Aufrisse auf den beiden Bogen cd und eg die Punkte 1 , bzw. 2 . Im Grundrisse sind die Abstände dieser Punkte von der Linie E als $r1$, bzw. $m2$ abgetragen, und weiter ist mittels des auf der Geraden mf gefundenen Mittelpunktes b_0 wiederum die für die in I aufgestellte Ebene geltende Wöblinie als Kreisbogenstück 12 gezeichnet. In gleicher Weise sind die Wöblinien für beliebig viele schneidende Ebenen II u. s. f., welche lothrecht und parallel zur Ebene E_0 genommen werden, zu bestimmen.

Für den Diagonalbogen xm wird nun z. B. $sb = wb$ und $mf_0 = mf$. Ferner wird für den Diagonalbogen pm $mf_{II} = mf$, $n3 = o3$ und $pq = rc$.

Der ganze in der Richtung xm ziehende Diagonalbogen ist hiernach als Wöblinie xbf_0q_0 zu bestimmen. In der Aufriss-Projection ist die Curve dbf_3c die Darstellung der Diagonalbogen über xm und mp . Je zahlreicher man die vorhin erwähnten lothrechten Schnitte nimmt, um so genauer ist das Austragen der Diagonalbogen zu bewirken.

Wäre der ansteigende Stirnbogen dbc von vornherein gegeben, so ist die Scheitel-

Fig. 587.



linie *ge* in passender Weise zu wählen. Hierdurch tritt aber im Festlegen der Wölbfläche an sich keine wesentliche Aenderung der beschriebenen Mafsnahmen ein.

Eine andere Gestaltung der Laibungsfläche des ansteigenden böhmischen Kappengewölbes ist in Fig. 587 veranschaulicht. Dieselbe entspricht vollständig den in Art. 397 (S. 539) gegebenen Anordnungen. Der Stirnbogen der schmalen Rechteckseite wird, wie dort erklärt, einfach stets sich parallel bleibend und lothrecht stehend an den beiden aufsteigenden Stirnbogen der langen Rechteckseiten fortgeführt. Derart gestaltete Laibungsflächen sind für die Ausführung der ansteigenden böhmischen Kappengewölbe zu empfehlen, weil dieselben unter Benutzung von Rutfchbogen, welche bereits in Art. 160 (S. 230) Erwähnung gefunden haben, gewölbt werden können.

401.
Anordnung
II.

b) Stärke der böhmischen Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

Das böhmische Kappengewölbe gehört der Gruppe der Kuppelgewölbe an. Die Gesichtspunkte, welche bei der Ermittlung der Stärke dieser Gewölbe nebst ihren Widerlagern zu beobachten sind, bleiben auch beim böhmischen Kappengewölbe bestehen, gleichgiltig ob die Laibungsfläche als reine Kugelfläche oder als kugelförmige Fläche ausgebildet ist.

402.
Stabilität
der
Kappen.

Die Stärke der böhmischen Kappen ist bei den üblichen in Wohnräumen vorkommenden Belastungen und ihren an sich mäßigen Spannweiten selten größer als $\frac{1}{2}$ Backsteinlänge. Bei besonders großen Spannweiten, bezw. bei erheblich starken Belastungen ist die Vornahme der statischen Untersuchung der Kappen und die darauf gestützte Berechnung der Gewölbstärke zu empfehlen.

Diese Untersuchung und Bestimmung der Gewölbstärke ist ganz nach den Angaben auszuführen, welche in Art. 322 bis 325 (S. 469 bis 476) für die bufigen Gewölbkappen gothischer Kreuzgewölbe enthalten sind.

Mögen Gurtbogenstellungen oder geschlossene Umfangsmauern als Widerlagkörper des böhmischen Kappengewölbes in Anwendung gebracht werden, so richtet sich die Stabilitätsuntersuchung dieser Stützkörper wiederum zunächst nach den in Art. 328 (S. 479) gegebenen Erörterungen. Die hierdurch bekannt gewordenen äußeren angreifenden Kräfte, welche vom Gewölbe auf die Widerlager übertragen werden, sind sodann im Sinne des in Art. 256 bis 258 (S. 378 bis 381) bei der Prüfung der Standfähigkeit der Stützkörper Vorgeführten in Betracht zu ziehen.

403.
Stabilität
der
Widerlager.

In den meisten Fällen der praktischen Ausführung des böhmischen Kappengewölbes können die durch Erfahrung fest gestellten Abmessungen der Gewölbstärke und der Stärke der Widerlager beibehalten werden.

404.
Empirische
Regeln:
Stärke
der
Kappen.

Wird die Pfeilhöhe des böhmischen Kappengewölbes nahezu gleich $\frac{1}{10}$ der Diagonale der Grundrissfigur genommen, so ist die Gewölbstärke bis 5^m Spannweite gewöhnlich gleich $\frac{1}{2}$ Backstein. Bei größerer Spannweite, welche aber 7^m selten überschreitet, wird die Pfeilhöhe zweckmäßig zu $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{8}$ der Diagonale fest gesetzt und die Gewölbstärke am Scheitel zu $\frac{1}{2}$ Backstein, am Widerlager bis zu 1 Backstein angenommen. Dabei ist eine Ausmauerung der Gewölzbzwinkel anzurathen.

Die Stärke der Widerlager beträgt bei der üblichen Höhe derselben etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ der größten Spannweite des Gewölbes, nie aber unter $2\frac{1}{2}$ Stein. Treten mehrere, durch Gurtbogen von einander geschiedene, vollständig gleichartig gestaltete böhmische Kappengewölbe in Reihen neben einander auf, so genügen meistens 1 $\frac{1}{2}$ Stein breite und 1 $\frac{1}{2}$ bis 2 Stein starke Gurtbogen.

405.
Widerlags-
stärke.

c) Ausführung der böhmischen Kappengewölbe.

406.
Material.

Als Wölbmaterial für das böhmische Kappengewölbe werden fast ausschließlich Backsteine und gut bindender Mörtel benutzt.

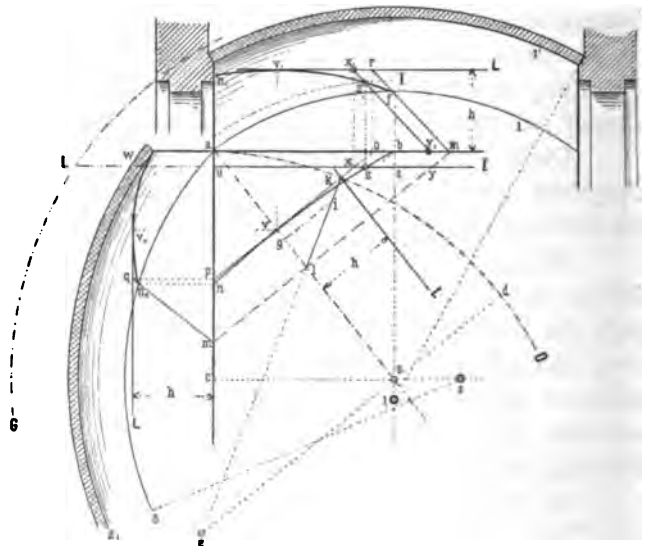
407.
Einrüstung.

Das Einwölben erfolgt freihändig. Beim Wölben dienen als Lehre nur aus leichten Brettern angefertigte Wölbscheiben, welche vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes aufgestellt, als sog. Diagonalbogen die allgemeine Gestaltung der Gewölbfäche anzeigen. An den Widerlagskörpern werden die Stirnlinien oft nur mit Kohle oder Kreide genau vorgezeichnet und die Widerlagsflächen hier mäfsig eingearbeitet, so dafs dieses System der Stirnlinien in Gemeinschaft mit den Diagonalbogen, bezw. Wölbscheiben hinreichende Mittel zur richtigen Ausführung der Wölbung gewährt. Nur in besonderen Fällen werden auch ausser den Diagonalbogen noch leichte Wölbscheiben, vom Scheitel aus rechtwinkelig nach den Widerlagern gerichtet, aufgestellt.

Das Einwölben erfolgt aus allen Gewölbeecken gleichzeitig nach Art des Schwalbenschwanz-Verbandes in einzelnen von den Stirnlinien des Gewölbes freihändig über die Diagonalbogen hinweggeführten Schichten mit Backsteindicke und $\frac{1}{2}$ Stein, bezw. 1 Stein Höhe. Gut bindender Mörtel bedingt die möglichst innige Verkitung der sorgfältig beim Vermauern angenästen Steine. Zuletzt bleibt eine nahezu quadratische Oeffnung für das Einsetzen des Schlusssteins.

Genau genommen sollen die Lagerkanten der einzelnen Wölbschichten stets in Normal-ebenen zu den Diagonalbogen liegen. In Fig. 588 ist für das böhmische Kappengewölbe über rechteckigem Grundrifs mit den Stirnlinien Ia , $2a$ und dem Diagonalbogen D für die Normalebene mit den Spuren xl und mm nach der in Art. 305

Fig. 588.

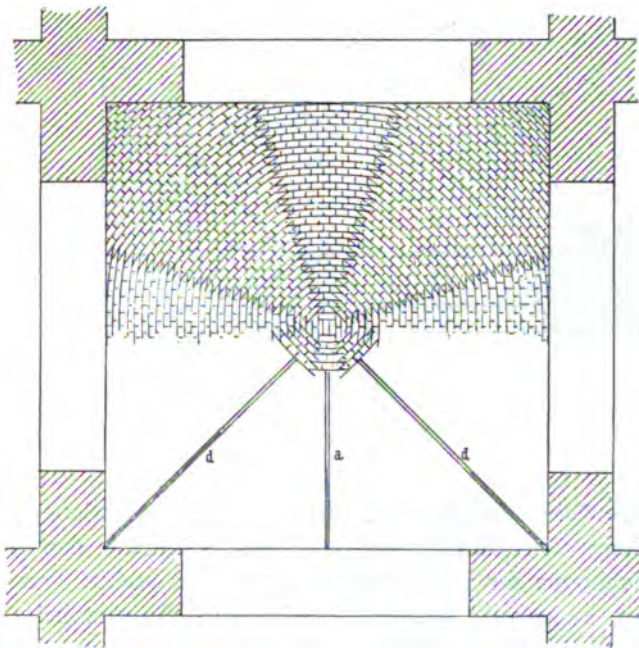
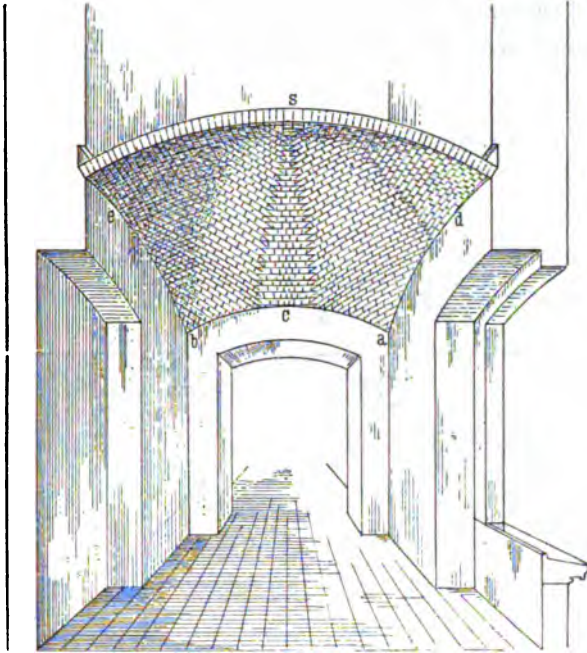


(S. 444) gegebenen Anleitung und auf dem aus der Zeichnung deutlich zu entnehmenden Wege die Darstellung der wagrechten Projection $nvsb$ und der lothrechten Projectionen fz, v, n , bezw. n, v, w der zugehörigen Lagerkante vorgenommen. Würde für das Wölbsite $absc$ eine Schaar solcher Lagerkanten bestimmt und diese Schaar in symmetrischer Anordnung auf die noch übrigen drei Wölbsite übertragen, so hätte man die Grundlage, um für das etwa im Rohbau mit farbigen Steinen in bestimmter Musterung auszuführende Gewölbe eine streng richtige Bauzeichnung anfertigen zu können.

Werden die einzelnen auf Schwalbenschwanz-Verband zusammentretenden Schichten bei gröfsern Spannweiten reichlich lang, so erfolgt das Einwölben nach Fig. 589 von den Ecken a, b u. f. f. aus nach dem Schwalbenschwanz-Verband, von

der Mitte der Widerlager nach dem Scheitel zu jedoch in dreieckigen Wölbgebieten *c, d, e* u. f. f. auf Kufverband. In diesem Falle sind außer den Wölbscheiben *d*

Fig. 589.



der Diagonalbogen noch Wölbscheiben *a* für die auf Kuf zu wölbenden Zwischenstücke erforderlich.

Für einen regelmäsig vieleckigen Raum ist das Einwölben auf Schwalbenschwanz-Verband nach Fig. 590 vorzunehmen. Die Lagerkanten sind wiederum Schnitte von Normalebenen der Diagonalbogen mit der Gewölbfläche.

Das Austragen der Stirnlinien nach der Annahme des Diagonalbogens *ab* mit der Pfeilhöhe *sc* und dem hiervon abhängigen größten Kreise *G* der Kugelfläche, welcher die Gewölbfläche angehört, ist nach dem in Art. 399 (S. 541) Gefagten bewirkt. Eben so ist in der hinlänglich besprochenen Weise die Grundriss-Projection *gh* einer Lagerkante der Normalebene *N* des Diagonalbogens *ac* gezeichnet.

Bei größeren regelmäsig vieleckigen Räumen läßt sich nach Fig. 591 eine wirkungsvolle Anlage böhmischer Kappengewölbe durch das Zusammentreten strahlenförmig von einer in der Mitte des Raumes aufgestellten Säule abzweigender Einzelgewölbe schaffen. Das Austragen der Schnittlinien der einzelnen Kappen, das Ausmitteln ihrer Stirnlinien nach der Annahme des durch die Kämpferpunkte *a, b, c, d* eines Gewölbefeldes gehenden Kreises *A* mit dem Mittel-

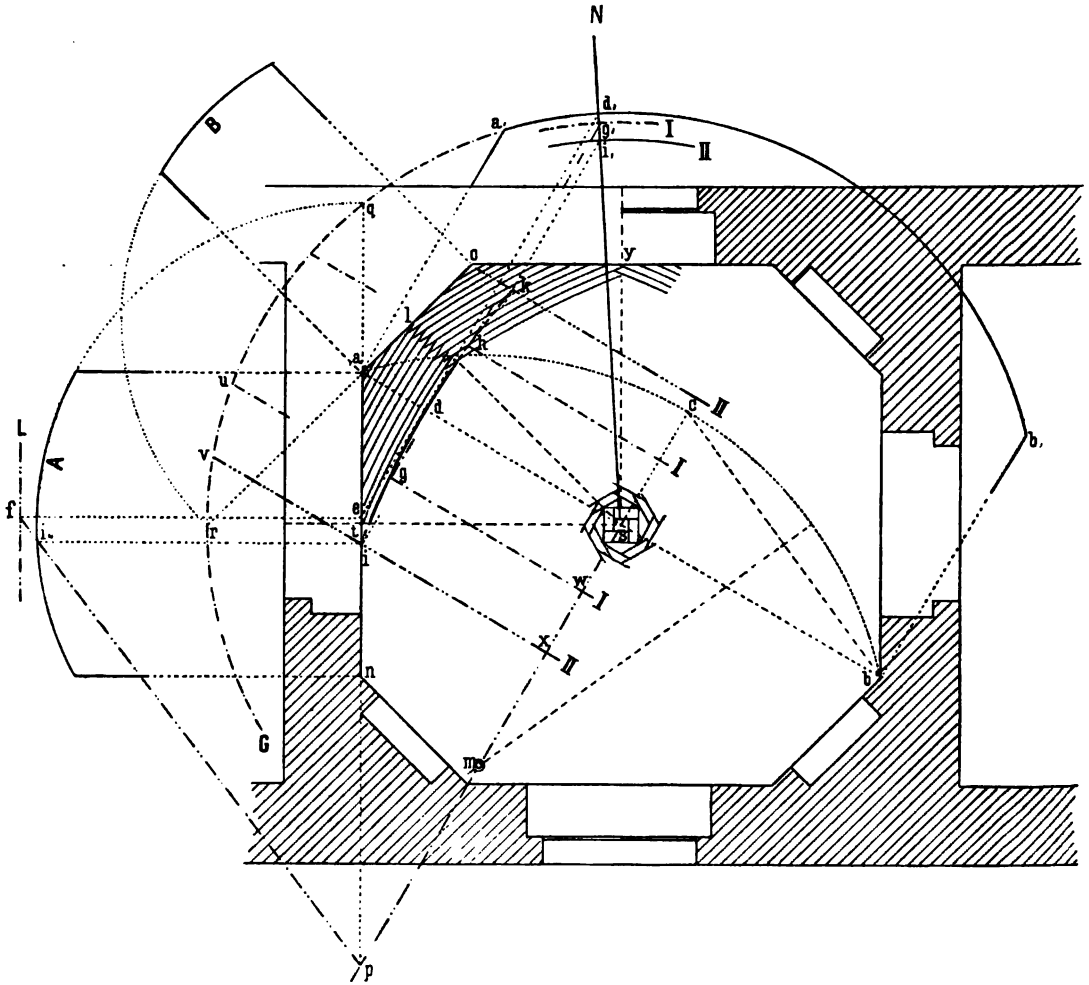
punkte *m* und nach dem Festsetzen der Pfeilhöhe *mh* bergen nach dem für die Gestaltung des böhmischen Kappengewölbes Vorgetragenen keine Schwierigkeit.

Bei der Ausführung des hier besprochenen Gewölbes werden in der Richtung

der Diagonalen ac , bd u. f. f. Verstärkungsgrate gemauert, gegen welche sich die auf Schwalbenschwanz-Verband gewölbten, meistens nur $\frac{1}{2}$ Backstein starken Kappen, wie bei r_1o_1 im Grundrisse angegeben ist, lagern. Hierzu ist bei $r''q''$ noch ein besonderer Normalschnitt nach bekannten Maßnahmen gezeichnet.

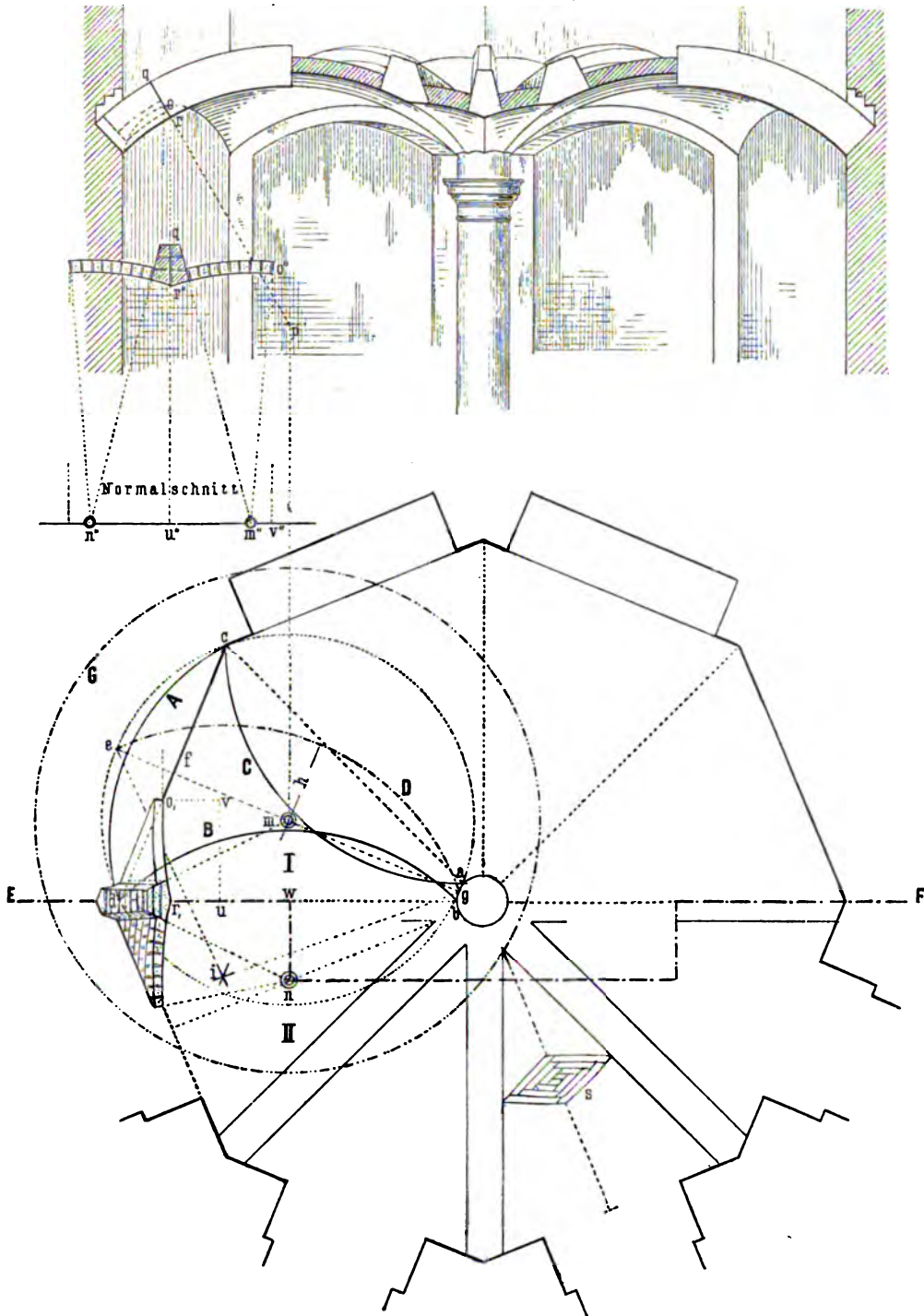
Der Schnitt in der Richtung EF bringt die Gewölbeanlage zur näheren Anschauung.

Fig. 590.



Sollen böhmische Kappengewölbe der in Art. 397 (S. 539) beschriebenen Gestalt nach unter Anwendung von Rutschbogen (Schlitten), ähnlich den in Art. 160 (S. 230) erwähnten Rutschbogen für preussische Kappen, über rechteckigem Gewölbefelde von grösserer Länge eingewölbt werden, so wird, wie Fig. 592 bei G zeigt, der grössere Theil des Gewölbes an den schmalen Seiten in Schichten gemauert, deren über das Gewölbe von Langseite zu Langseite ziehenden Stosfugenkanten in Normalebene bh , und bq , zur Stirnlinie B der anderen Seiten des Raumes liegen, während das in der Mitte des Gewölbes einzufügende Wölbgebiet auf Kuf ausgeführt wird, wobei hier die Lagerkanten Ebenen as , angehören, welche sich sämmtlich in

Fig. 591.

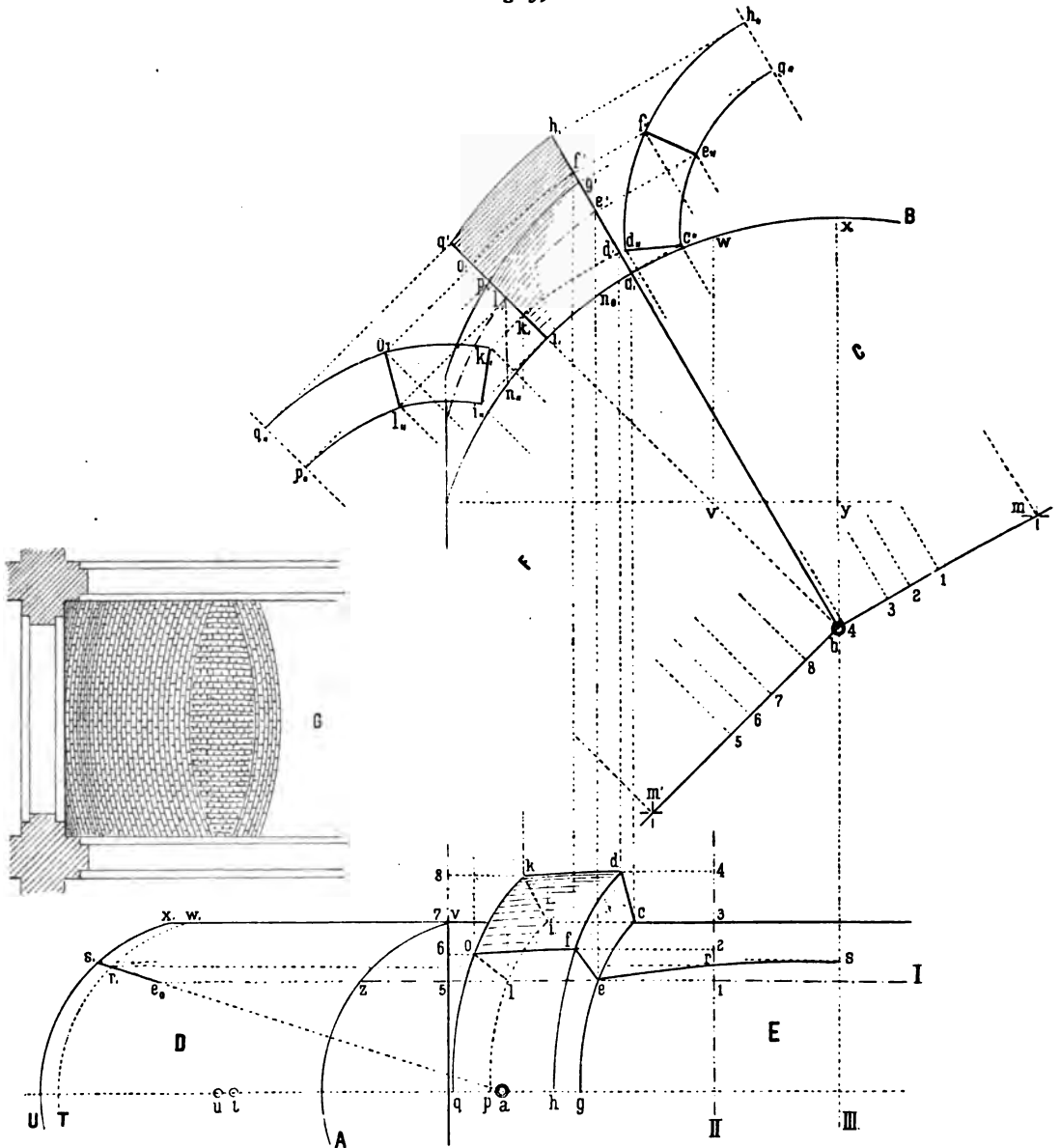


der geraden Verbindungslinie der Mittelpunkte der Stirnlinien der schmalen Rechteckseiten schneiden.

Hierdurch entstehen zwei Gruppen besonders gebildeter Wölbverbände. Ueber die Art dieser Verbände giebt die Zeichnung näheren Aufschluss.

Die Gerade bh , ist die Spur einer Normalebene des Stirnbogens B . Diese schneidet das Gewölbe in der zur Hälfte dargestellten, nach dem Stirnbogen A abgeleiteten Fläche $c,,g,,h,,d,,$. Die Lagerfugen $c,,d,,$ bzw. $e,,f,,$ stehen senkrecht zur Curve $c,,e,,g,,$; die normale Stärke des Gewölbes ist durch $c,,d,, = c,,f,, = g,,h,,$ gegeben. Eben so ist die Schnittfläche $l,,p,,q,,k,,$ des Gewölbes für die Normalebene bq , ausgetragen und unter Beachtung der vorhin erwähnten Gestaltung der Laibungsfläche des

Fig. 592.



Gewölbes die lothrechte Projection der Hälfte einer Wölbschicht stark vergrößert gezeichnet. Die Grundriffs-Projection ergibt sich mit Hilfe lothrechter Ebenen, wofür die wagrechten Spuren I, III , bzw. $1, 2, 3, 4$ parallel der langen Umfangsseite des rechteckigen Grundrisses genommen sind, ohne besondere Umstände. In Folge dessen werden auch die Stosfugenkanten ceg , bzw. ilp in der wagrechten Projection erhalten. Da die einzelnen Schichten nach Art des *Moller'schen* Verbandes gemauert werden, ein keilförmiges Zuschärfen der Steine nach den Ebenen bh , und bq , durch Ausgleichung der Dicke der Mörtelfugen in den Stosflächen aber vermieden werden kann, so ergibt sich beim Wölben selbst schon mit großer

Näherung der richtige Verlauf der Stoßfugenkanten ceg , ilp u. s. f., wenn nur von vornherein in der Nähe der Fußpunkte des Gewölbes eine der Zeichnung entsprechende Richtung der Stoßfugenkanten innegehalten wird.

Die Lagerfugenkanten des mittleren Gewölbegebietes E sind in den wagrechten Projectionen leicht aufzufinden. Für die Ebene as , ist ers ein Stück der wagrechten Projection einer Lagerkante. Die lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur II schneidet die Gewölbelaibung nach dem Kreisbogen T , wofür vw , $= vw$ des Stirnbogens B ist. Der Halbmesser w, t ist gleich dem Halbmesser va des Stirnbogens A der schmalen Rechtecksseite. Der Mittelpunkt t liegt, der Erzeugung der Wölbfläche entsprechend, auf der verlängerten Geraden ag . Die Ebene as , schneidet den Bogen T in r ; die auf II gelegene wagrechte Projection dieses Punktes ist also r , und folglich wird r ein Punkt der wagrechten Projection der gesuchten Lagerfugenkante. Nach gleichem Verfahren sind zahlreiche Punkte e, s dieser Lagerkante zu finden.

Bei sorgfältiger Ausführung der Wölbung auf Rutschbogen kann die Laibung dieser Gewölbe selbst ohne Putz bleiben. In ähnlicher Weise kann auch das Einwölben längerer ansteigender böhmischer Kappengewölbe bei der Anwendung von Rutschbogen ausgeführt werden. Als Leitschienen für die Rutschbogen dienen zwei an den Langseiten aufgestellte Wölbcheiben, deren obere Begrenzung nach den Stirnlinien der langen Umfangseiten abgerundet ist.

18. Kapitel.

Gußgewölbe und hängende Gewölbe.

Die Herstellung von Decken aus Gußmauerwerk oder Grobmörtel, bestehend aus einem Gemenge von Steinabfällen oder kleinen Steintrümmern, Steinschlag, und Mörtel wurde von den Römern schon frühzeitig vorgenommen. Die Form dieser Decken entsprach im Wesentlichen der Gestaltung der Tonnengewölbe, Kreuz- und Kuppelgewölbe.

408.
Gußgewölbe.

Ueber die Ausführung dieser sog. Gußgewölbe sind in Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« eingehendere Mittheilungen enthalten.

Dem Gebiete des eigentlichen Gewölbebaues sind derartige Gußmörteldecken jedoch nicht hinzuzurechnen. Nach dem Erhärten des Grobmörtels bildet die Gußmörteldecke eine zusammenhängende, mehr oder weniger elastische Schale, welche ihrem Gefüge nach von der Anordnung der gewölbten Steindecken in hohem Grade abweicht.

In der Neuzeit ist die Herrichtung von Decken aus Gußmörtel unter dem Beibehalten bestimmter Gewölbformen wieder sehr rege geworden. Sie werden vielfach und in mannigfachster Gestaltung und Größe zur Anwendung gebracht.

Die Ausführung der als Decken in der Form von Gewölben auftretenden Gußgewölbe, wobei ein etwa aus 1 Theile Cement, 2 Theilen Sand und 3 bis 6 Theilen Steinschlag oder Schlacken Kies durch entsprechenden Zusatz von Wasser bereiteter Grobmörtel benutzt wird, erfolgt stets auf einer vollständig mit Schalung versehenen Einrüstung des zu überdeckenden Raumes.

Der Grobmörtel oder Beton wird auf die Schalung in dünnen, 10 bis 15 cm dicken Lagen gleichförmig ausgebreitet und hierauf in sorgfamer Weise fest gestampft. Unter stetem Annäßen durch Wasser, welches mittels einer Gießkanne in dünnen Strahlen der unteren Lage zu Theil wird, erfolgt das Auftragen der nach und nach folgenden Betonschichten, bis die beabsichtigte Dicke der zu bildenden Decke

erreicht ist. Die Gewölbzwickel sind ebenfalls mit Gufsmörtel zu füllen. Hierbei sei auch auf Art. 68 (S. 75) des vorliegenden Heftes verwiesen.

409.
Rabitz-
und
Monier-
Decken.

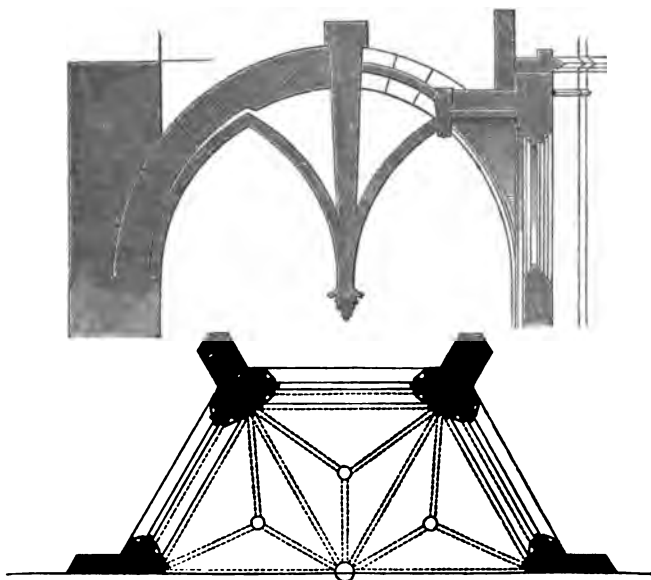
Bei den in Gewölbform hergerichteten *Rabitz*-Decken erhält die eigentliche Mörtelmasse, der sog. *Rabitz*-Putz (siehe Theil III, Band 2, Heft 1 dieses »Handbuches«, Art. 264 u. ff., S. 329 u. ff.), durch Einlage eines der Gestaltung der gewölbten Decke nachgeformten Drahtgewebes eine besondere Unterstützung und Haltbarkeit. Hierbei können einzelne stärkere Eisendrähte als Hauptträger des Drahtgewebes eingeführt werden.

Dieses Drahtsystem wird vollständig mit dem Mörtelputz überzogen, bis die gewünschte Form der Decke erzielt ist. Die Drahteinlage kann in der Mitte oder im unteren Viertel der Decke bleiben.

Bei den *Monier*-Decken wird die Gewölbform durch die Einlage eines aus starkem Eisendraht bestehenden Gerippes angebahnt. Dieses Gerippe wird aus 5 bis 25 mm im Durchmesser starken eisernen Längs- und Querstangen hergerichtet. An den Kreuzungstellen der Stäbe wird durch Drahtumwindungen ihre Verbindung bewirkt. Dieses Tragsystem der Decke ist ein mit 10 bis 15 cm, unter Umständen mit 20 cm weiten Maschen versehenes, korbartig gebildetes Geflecht, welches zur Herstellung der geplanten Decke mit Cementmörtel überzogen wird (siehe im eben genannten Heft dieses »Handbuches« Art. 271, S. 334).

Im Allgemeinen können die *Rabitz*- und die *Monier*-Decken eine geringere Stärke, als die eigentlichen gewölbten Decken erhalten.

Fig. 593 ¹⁹⁰⁾.



410.
Hängende
Gewölbe.

Werden bei einer gewölbten Decke einzelne Stützkörper, wie Pfeiler, Säulen u. f. w. fortgelassen und wird hierfür Ersatz durch eine oberhalb des Gewölbes in kräftiger Weise hergerichtete Trag-Construction geschaffen, an welche die zu stützenden Theile aufgehängt werden, so entsteht das sog. hängende Gewölbe (Fig. 593 ¹⁹⁰⁾).

¹⁹⁰⁾ Facf.-Repr. nach: GOTTGETREU, R. Lehrbuch der Hochbau-Konstruktionen. Theil I. Berlin 1880. S. 190.

Der Hauptbestandtheil desselben wird also stets das mit größter Sicherheit zu construirende Tragwerk bleiben, möge dasselbe als Gurtbogenfystem aus Stein oder unter ausschließlicher Verwendung von Eisen hergerichtet werden. Im Allgemeinen müssen die hängenden Gewölbe als äußerst gekünstelte Deckenbildungen angesehen werden. Bei der Möglichkeit des leicht eintretenden Verschiebens oder Senkens ihrer aufgehängten Stützpunkte ist auch die nöthige Sicherheit ihrer Standfähigkeit nur durch das Aufwenden kostspieliger und zusammengesetzter Nebenconstructions zu erreichen. Ihre Anwendung kann aus diesen Gründen nicht empfohlen werden. Ein näheres Eingehen auf ihre Anordnung erscheint hier überflüssig.

Beispiele von hängenden Gewölben, namentlich aus der Zeit der Spätgothik, sind in großer Zahl bei den Kirchenbauten Englands zu finden.

C. Sonstige Decken-Constructionen.

19. Kapitel.

Verglaste Decken und Deckenlichter¹⁹¹⁾.

VON ADOLF SCHACHT und Dr. EDUARD SCHMITT.

411.
Uebersicht.

Verglaste Decken und Deckenlichter, welche letztere meist »Oberlichter«¹⁹²⁾ geheißen werden, haben den Zweck, den unter ihnen befindlichen Räumen Licht zuzuführen, dieselben aber zugleich gegen das Eindringen von Staub, kalter Luft etc. abzuschließen. Da die verglasten Dächer und Dachlichter im nächstfolgenden Hefte (Abth. III, Abschn. 2, F, Kap. 39) dieses »Handbuches« eine gefonderte Behandlung erfahren werden, so sind an dieser Stelle im Wesentlichen nur solche Deckenlichter zu besprechen, welche entweder:

1) die nach oben zu abschließende Decke eines Raumes, bzw. einen Theil dieser Decke bilden, oder

2) welche in Zwischendecken gelegen sind, bzw. die Zwischendecke selbst bilden.

Hiernach bleiben die in äußeren Dachflächen gelegenen lichtdurchlassenden Flächen, die man zuweilen auch als »Oberlichter« bezeichnet, welche aber im »Handbuch der Architektur« die Benennung »Dachlichter« führen, unberücksichtigt. Hingegen werden Deckenlichter, welche man in Bürgersteigen, Bahnsteigen und sonstigen regelmässig zu betretenden Flächen anordnet und die theils zu der einen, theils zu der anderen der vorhin geschiedenen Arten gezählt werden können, mitbesprochen werden.

Dies vorausgeschickt, lassen sich im Folgenden unterscheiden:

a) Deckenlichter, welche ständig begangen, bzw. befahren werden, und

b) verglaste Decken (Glasdecken) und Deckenlichter, welche für gewöhnlich gar nicht, sondern höchstens nur zum Zweck der Reinigung oder Ausbesserung betreten werden.

Wenn deshalb die nachfolgende Unterscheidung auch nicht vollständig zutreffend ist, so mögen die unter a fallenden Deckenlichter kurzweg als begehbare und die unter b einzureihenden Constructionen als nicht begehbare bezeichnet werden.

Bezüglich der den Lichtöffnungen zu gebenden Abmessungen sei auf Theil III, Band 2, Heft 5 (Abth. III, Abschn. 2, F, Kap. 39: Verglaste Dächer und Dachlichter [unter a]) und auf Theil III, Band 3, Heft 1 (Abth. IV, Abschn. 1, A, Kap. 1: Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht¹⁹³⁾), so wie bezüglich der Gemälde-Galerien auf Theil IV, Band 6, Heft 4 (Abth. VI, Abschn. 4, B, Kap. 4, unter c, 1) dieses »Handbuches« verwiesen.

¹⁹¹⁾ Gegenwärtiges Kapitel ist im Wesentlichen ein Auszug aus dem Heft Nr. 2 der »Fortschritte auf dem Gebiete der Architektur« (Darmstadt 1894). Es wird auf dieses Ergänzungsheft des »Handbuches der Architektur« mehrfach hingewiesen und dabei stets die Abkürzung »Fortschritte Nr. 2« gebraucht werden.

¹⁹²⁾ Im »Handbuch der Architektur« wird der Gebrauch der Bezeichnung »Oberlicht« vermieden, um Mißverständnissen vorzubeugen. Wie bekannt, nennt man nicht selten hoch einfallendes Seitenlicht gleichfalls »Oberlicht«. (Vergl. auch Theil III, Band 3, Heft 1 [Abth. IV, Abschn. 1, A, Kap. 1] und Band 4, 2. Aufl. [Abth. IV, Abschn. 4, Kap. 1] dieses »Handbuches«.)

¹⁹³⁾ 2. Aufl.: Theil III, Band 4 (Abth. IV, Abschn. 1, A, Kap. 1: Verforgung der Gebäude mit Sonnenlicht).

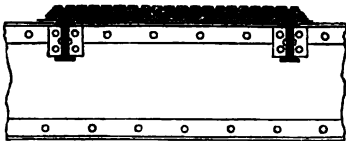
a) Begehbare Deckenlichter.

Im Inneren der Gebäude werden begehbare Deckenlichter erforderlich, wenn ein Raum das Licht aus dem darüber gelegenen Raume erhalten und wenn in letzterem der Verkehr nicht unterbrochen werden soll. Alsdann muß die zwischen beiden befindliche Decke lichtdurchlässig, also im Wesentlichen aus Glas construiert werden. Die beide Räume trennende Zwischenconstruction ist für den unteren »Deckenlicht«, bzw. »verglaste Decke« und für den oberen »Glasfußboden«.

422.
Deckenlichter
aus
Glasplatten.

Die Construction eines derartigen Deckenlichtes läuft im Allgemeinen darauf hinaus, daß man zwischen die meist eisernen Haupttragebalken der Decke, welche in der Regel I-förmigen Querschnitt und die der vorkommenden größten Belastung entsprechenden Abmessungen erhalten, schwächere Querträger aus geeigneten Formeisen, meist I-Eisen, setzt und dieselben durch Winkellaschen mit ersteren verbindet.

Fig. 594.



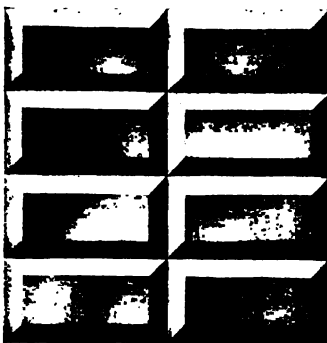
$\frac{1}{25}$ w. Gr.

In die Fache des so gebildeten schmiedeeisernen Rostes werden die Glasplatten (meist in Kitt) verlegt. Fallen die gedachten Querträger sehr stark aus, so stellt man sie am besten aus I-Eisen her und lagert erst auf diesen die I-Eisen, welche die Glasplatten aufzunehmen haben (Fig. 594). Im Allgemeinen empfiehlt es sich, für alle diese Träger, bzw. Stäbe hohe, aber schmale Profile zu wählen, um möglichst wenig Licht zu ver sperren.

Sind Räume von bedeutenden Grundrissabmessungen mit einer durchgehenden und begehbaren verglasten Decke zu überspannen, so wird eine größere Zahl von stärkeren Längs- und Querträgern erforderlich; häufig genügen dann einfache Walzbalken nicht mehr, und es kommen Blechträger zur Verwendung. Die durch die Längs- und Querträger gebildeten Fache haben alsdann meist eine so beträchtliche lichte Weite, daß für die Lagerung der Glasplatten noch besondere Sprossen anzuordnen sind¹⁹⁴⁾.

Für die Glasplatten verwendet man häufig Rohglas, welches für die in der Regel vorkommenden Verhältnisse meist 20 bis 25 mm stark zu wählen fein wird¹⁹⁵⁾.

Fig. 595.



Glashartguss-Fußbodenplatte
der Aktiengesellschaft für Glasindustrie
vorm. Friedr. Siemens zu Dresden.

Ueber das Presshartglas, welches in Folge seiner großen Biegezugfestigkeit und seiner Widerstandsfähigkeit gegen Stosswirkungen im vorliegenden Falle in erster Reihe in Frage kommen sollte, liegen noch nicht so allgemein günstige Erfahrungen vor, daß dessen Benutzung unbedingt empfohlen werden könnte; Tafeln, die vorher auf das sorgfältigste geprüft worden sind, springen später bisweilen ohne ersichtliche Ursache. Durch Aenderungen im Fabrikationsvorgang ist indeß in neuerer Zeit diesem Mißstand begegnet worden, und die von der Aktiengesellschaft für Glasindustrie vorm. Friedr. Siemens zu Dresden erzeugten »Glashartguss-Fußbodenplatten« (Fig. 595) haben sich bewährt.

Jedenfalls muß auch noch des von Friedr. Siemens in Dresden in neuerer Zeit erzeugten Drahtglases (Roh-

¹⁹⁴⁾ Ein einschlägiges Beispiel siehe in: Fortschritte Nr. 2, S. 7.

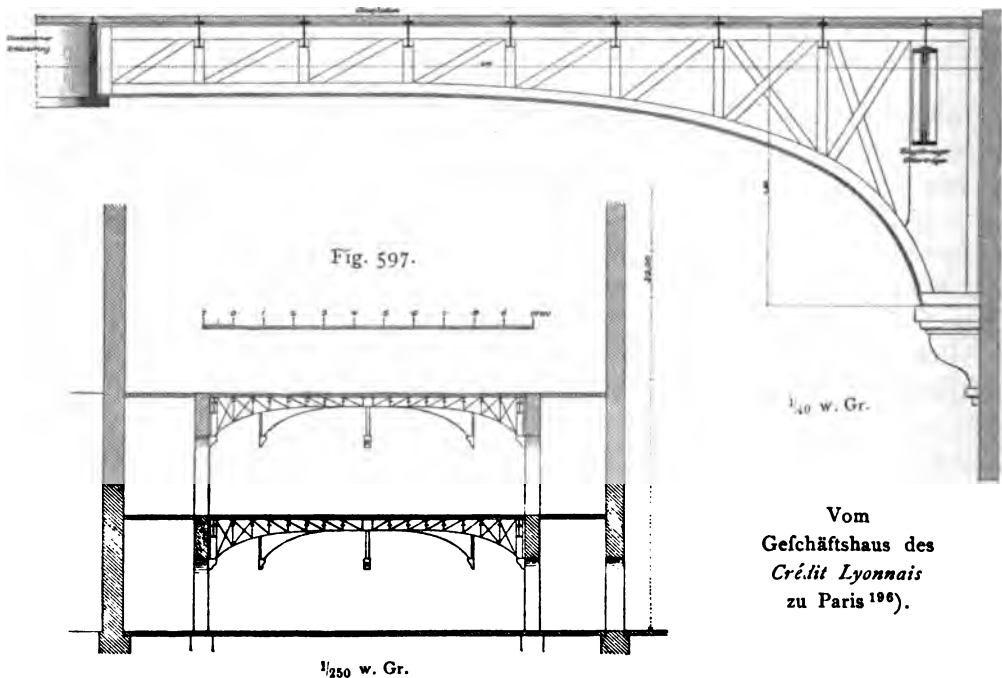
¹⁹⁵⁾ Ueber Berechnung der Glasdicke siehe Theil III, Band 3, Heft 5 (Abth. III, Abchn. 2, F, Kap. 39, unter b, 3) dieses »Handbuchs«.

glas, in dessen Innerem sich ein feinmaschiges Eisendrahtgewebe von 1 mm Stärke befindet) gedacht werden, welches sich für den fraglichen Zweck wohl eignen dürfte; schon bei einer Dicke von 6 bis 8 mm kann es ohne Gefahr des Durchbrechens betreten werden.

Damit die Glasplatten für das Begehen nicht zu glatt sind, werden sie nicht felten an ihrer Oberfläche gerieft oder kreuzweise gefurcht hergestellt; sie heißen dann wohl auch Glasfliesen (siehe Fig. 594 u. 595). Letztere werden namentlich in Pariser Geschäftshäusern in großem Umfange verwendet; sie messen dort 35 cm im Geviert, sind 60 bis 70 mm dick und mit 10 mm tiefen, einander kreuzenden Riefen versehen; die Platten werden gegossen und haben eine etwas grünliche Farbe. Die eben erwähnten Glashartguß-Fußbodenplatten messen 15 bis 42 cm im Geviert und sind nach drei verschiedenen Mustern gerieft.

Als erstes Beispiel sei die einschlägige Construction im Geschäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris (Fig. 596 u. 597¹⁹⁶) vorgeführt. In demselben sind zwei Kellergeschosse über einander angeordnet, welche beide nur mittelbares Licht von oben her — durch die Deckenlichter, bezw. durch gläserne Fußböden — erhalten.

Fig. 596.

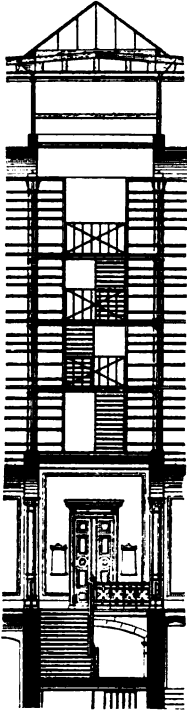


Vom
Geschäftshaus des
Crédit Lyonnais
zu Paris 196).

Im Inneren des im Grundriss zwölfckig gestalteten Treppenhauses (Fig. 597) von 16 m Durchmesser, welches nach oben durch ein verglastes Zelt Dach abgeschlossen ist, befindet sich in beiden Kellergeschossen eine ringförmige Pfeilerstellung, auf welcher die massive Treppen-Construction des Erdgeschosses ruht. Der innerhalb dieser Pfeiler frei bleibende kreisförmige Raum von 10 m Durchmesser ist durch ein Deckenlicht abgeschlossen, dessen Tragwerk nach Art der Kuppel-, bezw. Zeltdächer angeordnet ist. Die 8 radial gestellten Hauptträger (Binder) desselben liegen mit ihrer Oberkante nahezu bündig mit dem Fußboden des darüber befindlichen Geschosses und sind als Fachwerkträger construiert (Fig. 596); sie ruhen an den Umfassungen auf steinernen Consolen und sind dafelbst durch einen ringförmigen Gitterträger mit einander

¹⁹⁶) Nach: CONTAG, M. Neuere Eisenconstruktionen des Hochbaues in Belgien und Frankreich. Berlin 1889. S. 12, 13 u. Taf. 6.

Fig. 598.



Von der
Universitäts-Biblio-
thek zu Halle ¹⁹⁷⁾.

$\frac{1}{250}$ n. Gr.

verbunden; in der Mitte stoßen die Hauptträger in einem achteckigen gußeisernen Schlußring zusammen. Zwischen diesen Trägern liegen, parallel zu den Umfassungen, 8 schwächere Träger (Pfetten) von I-förmigem Querschnitt, welche schiefwinkelig mittels gußeiserner Knaggen und Ecken angeschlossen sind und die L-Eisen tragen, in denen die Glasfliesen ruhen (siehe auch Fig. 594).

Solche Glasfliesenbeläge sind in sämtlichen Lichthöfen des genannten Geschäftshauses zu finden; sie sind auch in anderen Pariser Bauten, z. B. im *Comptoir d'escompte*, in den *Grands Magasins du Printemps* etc. verwendet worden und haben bezüglich der Erhellung der darunter gelegenen Räume sehr günstige Ergebnisse geliefert ¹⁹⁶⁾.

Als weiteres hierher gehöriges Beispiel diene das über dem Treppenhaus der Universitäts-Bibliothek zu Halle a. S. angebrachte Deckenlicht (Fig. 598 ¹⁹⁷⁾).

Dieses ziemlich central gelegene Treppenhaus wird von oben beleuchtet; die Treppe führt nur bis zum I. Obergeschoß; das ganze II. und III. Obergeschoß bildet ein Büchermagazin. Das Deckenlicht des Treppenhauses befindet sich im Mittelgang des letzteren, und das Licht fällt durch ein über diesem angeordnetes Dachlicht ein. Der Verkehr in diesem Mittelgange durfte nicht unterbrochen werden; deshalb mußte das Deckenlicht begehbar konstruiert werden. Auf einer untergelegten Balkenlage aus I-Eisen liegt ein Rost von hochkantig gestellten Flacheisen mit 30 cm Maschenweite; die Flacheisen sind mit Hilfe von Winkelfaschen mit einander verschraubt; letztere dienen den Glasplatten als Auflager. Die Glasplatten sind aus kreuzgekerbtem Rohglas hergestellt, dessen geringste Stärke in den Kerben noch 2,5 cm beträgt ¹⁹⁷⁾.

Aus Glasplatten gebildete begehbare Deckenlichter kommen indess nicht bloß im Inneren der Gebäude vor, sondern sie sind auch in manchen anderen Fällen zur Anwendung gekommen.

Namentlich waren in neuerer Zeit die Umbauten der Bahnhöfe größerer Städte Veranlassung zur Ausführung solcher Deckenlichter, sobald es sich darum handelte, die einzelnen Bahnsteige unter einander und mit dem Empfangsgebäude durch unterirdische Gänge oder Tunnel zu verbinden.

Diesen, dem Personen-, Gepäck- und Postverkehr dienenden Tunneln wird die Haupterhellung allerdings durch die Treppenumündungen oder durch künstliches Licht zugeführt; indess an denjenigen Stellen, wo diese Tunnel unter Zwischenbahnsteigen liegen, zu denen keine Treppen emporführen, eben so für andere unter den Bahnsteigen befindliche unterirdische Räume werden Deckenlichter angeordnet, und diese müssen naturgemäß dem auf den betreffenden Bahnsteigen herrschenden Verkehre genügenden Widerstand leisten.

Derartige Deckenlichter erhielten meist eine genügend starke Verglasung, die in einem unterstützenden engen Eisenrost ruht. Fig. 599 zeigt ein im Freien ge-

Fig. 599.



$\frac{1}{50}$ n. Gr.

legenes Deckenlicht der fraglichen Art in Querschnitt und Längsschnitt; behufs Ableitung der atmosphärischen Niederschläge sind die Glastafeln der Quere nach geneigt angeordnet; der Rost ist aus L- und I-Eisen zusammengesetzt.

¹⁹⁷⁾ Nach: Zeitschr. f. Bauw. 1885, S. 338 u. Bl. 49.

Fig. 600.

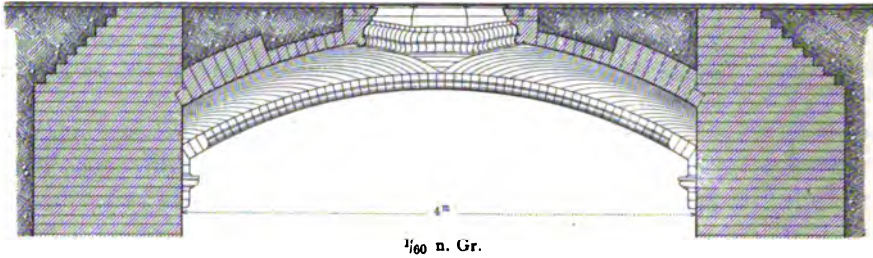


Fig. 601.

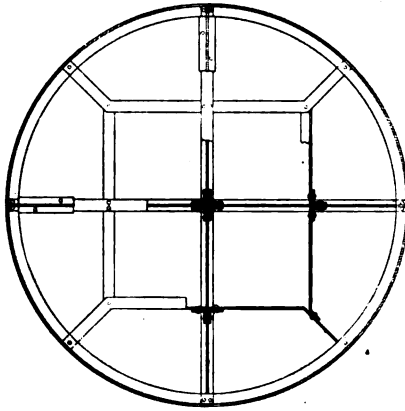
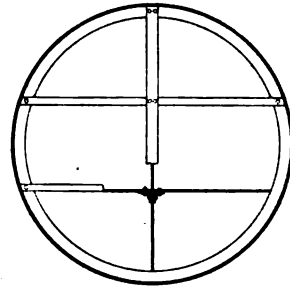


Fig. 602.



1/30 n. Gr.



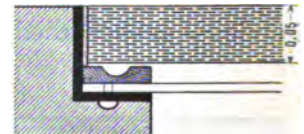
Vom Hauptbahnhof zu Hannover.

In Fig. 601 ist ein kreisrundes Deckenlicht von 1,5 m lichtem Durchmesser dargestellt, wie es in den gewölbten Decken der Tunnel im Hauptbahnhof zu Hannover zur Ausführung gekommen ist, und in Fig. 602 ein solches von 1,0 m Durchmesser daselbst. Fig. 600 veranschaulicht den oberen Theil des betreffenden Tunnels im Querschnitt, woraus ersichtlich ist, daß sich über der Durchbrechung des Gewölbes Stirnmauern *s* erheben, die oben einen Steinkranz tragen, worin der eiserne Rost lagert.

Nicht immer ist für die Herstellung der Stirnmauern der erforderliche Raum vorhanden, und man muß alsdann den Abschluß gegen die Gewölbeüberschüttung durch eine Eisen-Construction bewirken ¹⁹⁸⁾.

Die Glasplatten erhalten meist zwischen 2,5 und 4,0 cm Dicke und werden entweder in ein Kittbett (Fig. 599) oder auf einen Zwischenrahmen aus Holz (Fig. 603) gelagert. Letzterer erhält zur Aufnahme und Ableitung des Schwitzwassers und des an den Seitenkanten der Platten durchsickernden Außenwassers an seiner Oberseite häufig eine Rille. Indes ist ein Kittbett, am besten ein solches aus einem der Feuchtigkeit und den sonstigen

Fig. 603.



1/6 n. Gr.

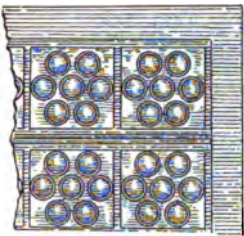
¹⁹⁸⁾ Zwei hierher gehörige Beispiele sind zu finden in: Fortschritte Nr. 2, S. 10 u. Fig. 10, so wie 11 (S. 12).

Fig. 604¹⁹⁹⁾.

äußeren Einflüssen längere Zeit Widerstand leistenden Asphaltkitt, vorzuziehen, weil dadurch eine gleichmäßigere Auflagerung der Glasplatten gesichert ist.

Statt der Glastafeln sind in lebhaft von Fuhrwerken benutzten Durchfahrten etc. auch schon Pflasterwürfel aus Rohglas verwendet worden, welche in Abmessungen bis zu 165 mm Stärke bei 150 mm Seitenlänge und einem Gewicht von 9 kg erzeugt werden.

In der Regel erscheint es geboten, unter begehbaren Deckenlichtern, welche nach einer der im Vorhergehenden beschriebenen Constructionen ausgeführt sind, ein Drahtgitter anzuordnen, welches bei etwaigem Bruch der Glasplatten etc. den darunter befindlichen Personen den erforderlichen Schutz gewährt. Bei Verwendung von genügend dickem Drahtglas sind solche Vorkehrungen nicht nothwendig.

Fig. 605¹⁹⁹⁾.

423.
Deckenlichter
aus
Glasprismen
und -Linsen.

Schon seit längerer Zeit verwendet man vielfach, besonders in Nordamerika und England, zur Erhellung von Kellerwohnungen, von im Kellergeschoß gelegenen Geschäftsräumen, von rückwärtigen Theilen erdgeschossiger Werkstätten und Läden, von Räumen, welche vor städtischen Gebäuden unter dem Bürgersteig angeordnet sind, von Fluren etc., welche vom Sonnenlicht entweder gar nicht oder nur in sehr geringem Maße erreicht werden, Glasprismen und Glaslinsen. Die im vorhergehenden Artikel

vorgeführten Glasplatten werden hauptsächlich dann benutzt, wenn in einen unter-

irdisch gelegenen Raum Lichtstrahlen lothrecht von oben einfallen sollen; Glasprismen und -Linsen hingegen können nicht nur unter gleichen Verhältnissen, sondern auch dann Anwendung finden, wenn man einem unterirdischen Raum hohes Seitenlicht zuführen will. In letzterem Falle werden in den Bürgersteigen, den Hofräumen etc. Lichtschächte

angeordnet und diese alsdann in der Höhe der Bürgersteig-, Hof- etc. Oberkante mit einem gußeisernen Roß abgedeckt, in dessen einzelne Maschen Gläser eingesetzt und eingekittet werden, von denen

Fig. 606.

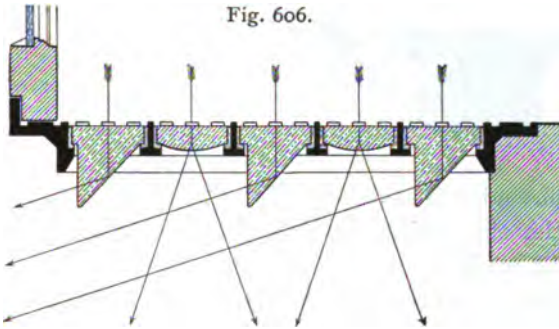


Fig. 607.

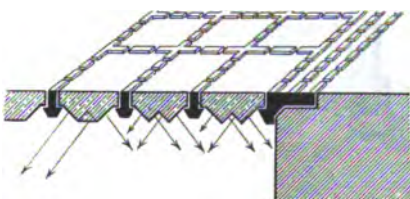
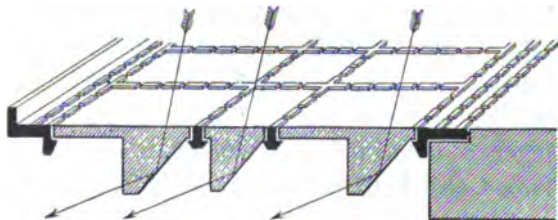


Fig. 608.



¹⁹⁹⁾ Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

jedes entweder ein einzelnes Prisma oder eine einzelne Linse bildet oder an seiner Unterfläche eine Anzahl von kleineren Prismen oder Linsen trägt.

In Fig. 604¹⁹⁹⁾ hängt in jeder Masche des Rostes ein einzelnes Prisma von 6×11 cm Grundfläche und 10 cm Höhe, während bei der Anordnung in Fig 605¹⁹⁹⁾ die 30 bis 50 cm im Geviert messenden Glastafeln an ihrer Unterfläche mit je 7 halbkugelförmigen Linsen (um 2,5 bis 4,0 cm vorspringend) versehen sind. Bei dem durch Fig. 606 veranschaulichten, aus England stammenden Deckenlicht sind in die Maschen des Eisenrostes abwechselnd je ein Glasprisma und eine Glaslinse versenkt.

In manchen Fällen hat man Glasplatten verwendet, welche an ihrer Unterfläche mit prismaartig gestalteten Vorsprüngen, bezw. Vertiefungen versehen sind, wie dies z. B. Fig. 607 zeigt.

Letztere Anordnung, eben so die Ausführungen in Fig. 608, 609 u. 610 rühren von der Firma *Gebr. Klencke* in Hemelingen bei Bremen her, welche in neuerer Zeit solche Glaserzeugnisse in den Handel gebracht hat. In Fig. 608 u. 609 wird das Licht hauptsächlich nach einer Seite geworfen, so daß der zu erhellende Raum nicht unmittelbar unter dem Deckenlicht zu liegen braucht; die betreffenden Glaskörper sind $9,2 \times 11,8$ cm und $18,0 \times 11,8$ cm groß. Bei der Anordnung nach Fig. 607 wird das Licht nach allen Seiten zerstreut, so daß dabei vorausgesetzt ist, der zu erhellende Raum befindet sich gerade unter dem Deckenlicht. Fig. 610 endlich zeigt die Anwendung von Glasprismen, wenn durch eine Steintreppe hindurch der darunter gelegene Raum erhellt wird; man kann indeß auch die Glasprismen selbst stufenartig über einander setzen.

Aehnlich gestaltet sind die in Frankreich gebräuchlichen, zumeist aus der Fabrik von Saint-Gobain herrührenden Glaskörper. Fig. 611²⁰⁰⁾ stellt einen Theil einer Glasdecke dar, durch welche ein großer, im Erdgeschoß gelegener Saal des *Comptoir d'escompte* zu Paris erhellt wird.

Diese Decke wird von eisernen Säulen getragen, auf denen zunächst Zwillingss balken (aus je zwei I-förmig gestalteten Blechträgern zusammengefügt) ruhen. Zwischen diesen sind die J-förmigen Sprossen angeordnet, in welche die Prismengläser, nachdem vorher ein Bett aus Glaferkitt ausgebreitet worden war, verlegt worden sind.

In den Bürgersteigen der Hauptverkehrsstraßen von New-York und anderen Städten der Vereinigten Staaten findet man zahlreiche Deckenlichter (Fig. 612²⁰¹⁾, welche die unter den Bürgersteigen gelegenen unterirdischen Räume zu erhellen haben. Sie bestehen aus einem gusseisernen

Fig. 609.

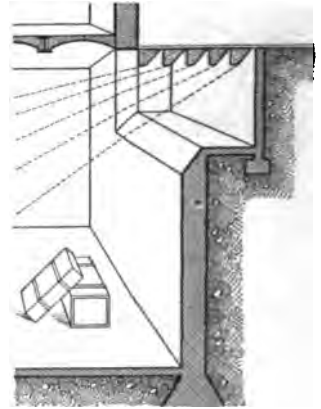
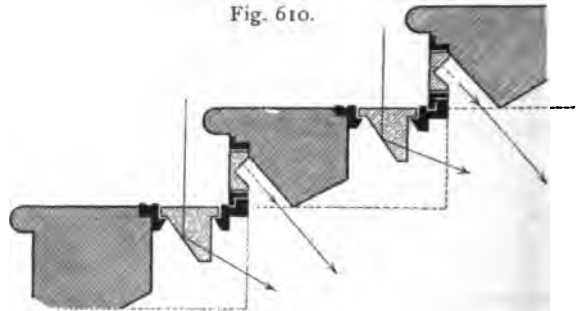
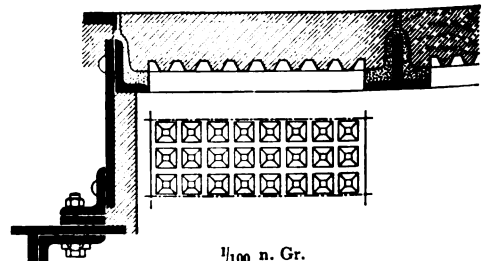


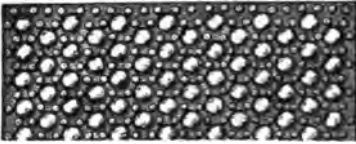
Fig. 610.

Fig. 611²⁰⁰⁾.

²⁰⁰⁾ Nach: *La semaine des constr.*, Jahrg. 10, S. 92.

²⁰¹⁾ Vielfach von den *Humboldt-Iron-Works* in New-York und von *F. M. Hicks & Co.* in Chicago ausgeführt.

Fig. 612.



Roß, in dessen kreisförmige Durchbrechungen Glaslinen eingesetzt sind (Fig. 614²⁰²⁾.

An die Linen ist eine schraubenförmige Nuth angegossen; in die Durchbrechungen des Eisenroßes ist ein Stift eingesteckt; Einsetzen und Abdichten der Glaslinen erfolgen mit Hilfe eines eigenen Schlüssels durch Bajonett-Verschluss, wie dies aus Fig. 614 zu ersehen ist. Zur vollkommenen Abdichtung wird zwischen den

conischen Hals des Eisengerippes und die Linse ein Kautschukring gelegt.

Bisweilen sind diese Linen nach unten prismenartig verlängert (Fig. 613). In Form von Prismen enden auch die von *Ful. Staehr* in Berlin gelieferten sog. »Glaschuppen«, die nach oben zu gleichfalls linsenförmig gestaltet sind (Fig. 615).

Fig. 613.



Fig. 614.

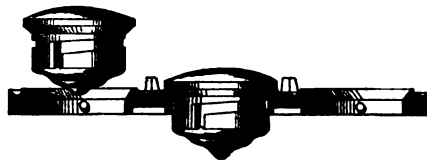
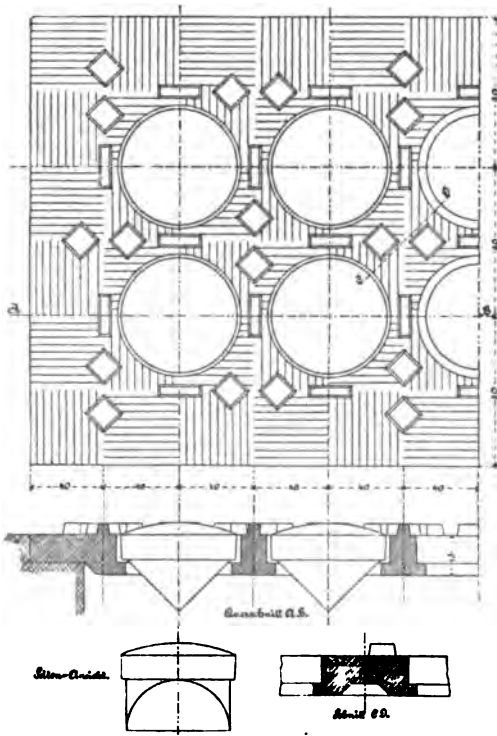


Fig. 615.



Einfall-Lichtgitter mit Glaschuppen von *Ful. Staehr* zu Berlin.

Wie leicht ersichtlich, wird durch ein nach Fig. 604 (S. 559) geformtes Prisma ein mächtiges Bündel von convergirenden Lichtstrahlen, welche feine Oberfläche treffen, zu einem parallelen Bündel zusammengefasst und dadurch die Lichtstärke für den darunter befindlichen Raum nicht allein vermehrt, sondern in vielen Fällen darin das Licht auch besser vertheilt. Ganz ähnlich verhält es sich mit der Linenform. Die Wirkung der Prismen und Linen kann noch erhöht werden, wenn man das durch dieselbe geleitete Licht auf große Spiegelflächen führt; sobald letztere um eine wagrechte Achse drehbar sind, kann man sie zu jeder Tageszeit in eine solche Stellung bringen, daß sie das Licht in den zu erhellenden Raum in möglichst günstiger Weise zurückwerfen.

Unter günstigen Verhältnissen erreicht man hiernach mit den hier vorgeführten Anordnungen eine ganz gute Wirkung; allerdings betragen die Kosten solcher Glaskörper das 5- bis 6-fache

²⁰²⁾ Facf.-Repr. nach: HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

derjenigen einer Verglasung mit Rohglasplatten. Auch ist bei den Glaslinsen zu beachten, daß sie unter Umständen wie Brenngläser wirken, daß also unmittelbar unter denselben lagernde entzündbare Stoffe gefährdet werden können.

Sollen derartige Deckenlichter begangen werden, so muß man, da die Glaskörper an ihrer Oberfläche ziemlich glatt sind, dafür sorgen, daß darüber schreitende Personen nicht ausgleiten. Deshalb verzieht man entweder die Glaskörper an ihrer Oberfläche mit einer Riefung, wodurch sie allerdings in ihrer Lichtdurchlässigkeit beeinträchtigt werden, oder man gießt an die Oberkante der Stege des eisernen Rostes Zäpfchen an (Fig. 607 u. 608), wodurch das Ausgleiten verhindert wird. Die Linsen in Fig. 613 u. 614 ragen über das Eisengerippe hervor, so daß ein Ausgleiten nicht in zu hohem Maße zu befürchten ist; um jedoch das Glas vor Beschädigung zu schützen und dem Fußgänger einen ganz sicheren Halt zu gewähren, sind an den Rost dreikantige Stollen oder Warzen angegossen.

Seit einigen Jahren erzeugen die Glashüttenwerke »Adlerhütten, H. Mayer & Co.« zu Penzig in Schlesiens sog. Glashohlsteine oder Glasbausteine, System *Falconnier*, welche sich wie andere Steine mit Hilfe von Mörtel zu gewölbten Decken vereinigen lassen; die Herstellung geschieht genau so über einer Verschalung, wie bei einem flachen Backsteingewölbe. Decken aus solchem Material empfehlen sich namentlich dort, wo möglichst viel zerstreutes Licht in die Räume eingeführt werden soll, z. B. für große und tiefe Arbeitsäle, für Künstler-Arbeitsstätten, Wintergärten und andere Pflanzhäuser, Operationsäle etc., auch dann, wenn eine thunlichst gleichmäßige Temperatur gewünscht wird, wie in Eisfabriken, Schlächtereien etc.

Diese Glasbausteine sind linienartige Hohlkörper aus Glasmasse und werden sowohl als ganze, wie auch als Dreiviertel-, Halbe- und Viertelsteine hergestellt; sie werden halbweiß, weiß, milchweiß und in fatten, dunkeln Farben erzeugt. Fig. 616 zeigt Glasbausteine in Sechseckform, die zusammengefügt einer Bienenwabe ähnlich sind; in Fig. 617 sind flaschenförmige Glassteine mit rundem Mittelteil dargestellt. Von solchen Glasbausteinen sind für 1 qm Decke ca. 60 Stück notwendig, von denen jeder ca. 700 g wiegt; die Kosten belaufen sich, je nach der Farbe der Steine, auf 15 bis 24 Mark für 1 qm. Als Mörtel werden Cement- und Gypsmörtel verwendet.

Die Glashohlsteine sind in Folge ihrer eigenartigen Form bei sehr kräftiger Wandung äußerst widerstandsfähig und nur schwer zu zerstören; die im Inneren eingeschlossene Luft bildet auch bei starken Temperaturunterschieden eine gute Isolierung, so daß ein Schwitzen nicht eintritt.

Fig. 616.

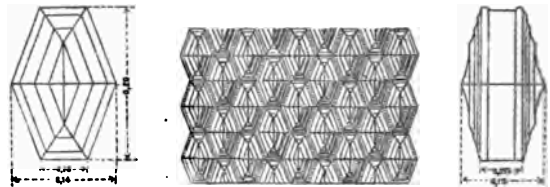


Fig. 617.



Glashohlsteine der Glashüttenwerke »Adlerhütten«
in Penzig.
1/10 n. Gr.

b) Nicht begehbare Deckenlichter und verglaste Decken.

1) Allgemeines.

Im Nachstehenden handelt es sich sowohl um kleinere verglaste Lichtflächen, welche in Balken- oder gewölbte Decken eingefügt sind, als auch um Decken-Constructions, welche in ihrer ganzen Ausdehnung (von umrahmenden Flächenstreifen, Hohlkehlen u. dergl. etwa abgesehen) verglast sind.

415.
Ueberlicht.

Die größten verglasten Decken dieser Art sind wohl diejenigen, welche die Bedeckung größerer Binnenhöfe (glasbedeckte Lichthöfe) bilden und die Benutzung der letzteren als Innenräume ermöglichen. Von bedeutenderer Ausdehnung sind nicht selten die verglasten Theile der Decken in den Deckenlichtfälen von Museen und Ausstellungsgebäuden, eben so die Deckenlichter über Flurhallen, Treppenhäusern etc.

Ueber den hier in Frage kommenden Deckenlichtern und Glasdecken befindet sich meistens ein geschlossener Raum; nur sehr selten münden dieselben in das Freie. Aus dem über der Lichtfläche vorhandenen Raume fallen die Lichtstrahlen in den darunter befindlichen Raum ein; um dies zu ermöglichen, ist in den häufigsten Fällen über dem Deckenlicht, bzw. über der verglasten Decke ein verglastes Dach angeordnet, so daß man die innere Glasdecke und das äußere Dachlicht²⁰³⁾ zu unterscheiden hat. Verhältnißmäßig selten wird der Raum über der Glasdecke durch Seitenlicht erhellt; eine ausreichende Beleuchtung des Raumes unter derselben wird alsdann nur schwer zu erzielen sein.

Die im Nachfolgenden zu besprechenden verglasten Lichtflächen sind ausdrücklich als »nicht begehbar« bezeichnet worden; in Folge dessen muß in allen Fällen, wo es möglich ist, daß Personen aus Unvorsichtigkeit etc. auf eine solche Lichtfläche gerathen können, durch Einfriedigung oder anders geartete Verwahrung Vorforge getroffen werden, damit Niemand das Deckenlicht, bzw. die Glasdecke betreten kann.

416.
Form.

Die in Rede stehenden Deckenlichter und verglasten Decken haben in den allermeisten Fällen die rechteckige Grundform; Deckenlichter, welche in Kuppelgewölbe eingefügt sind, solche über Treppenhäusern etc. erhalten wohl auch kreisförmige, halbkreisförmige oder nach den besonderen Verhältnissen auch noch andere Grundrissgestalten.

Construction und Ausführung gestalten sich am einfachsten, wenn man das Deckenlicht, bzw. die verglaste Decke eine einzige wagrechte Ebene bilden läßt. Indefs wird man nur bei Deckenlichtern von geringer Ausdehnung die Tragesprossen völlig wagrecht anordnen; meist werden sie schwach ansteigend ausgeführt, weil dadurch einerseits ein besseres Aussehen erreicht, andererseits auch vermieden wird, daß in Folge des unvermeidlichen Sackens der Sprossen die Glasfläche eine nach unten gewölbte Form erhält.

Man hat aber die Glasflächen auch stärker ansteigen lassen, so daß das Deckenlicht, bzw. die Glasdecke die Form eines flachen Sattel- oder Zeltendes, wohl auch die Gestalt einer abgestutzten Pyramide erhalten hat; selbst nach oben gekrümmte Querschnittsformen sind ausgeführt worden. Im Nachstehenden werden mehrfach Beispiele solcher gegliederter Glasdecken vorgeführt werden.

Ueber den verglasten Lichtflächen lagern sich Staub und andere Verunreinigungen ab, weshalb dafür geforgt werden muß, daß eine zeitweilige Säuberung der

417.
Reinigung
und Schutz der
Glasflächen.

²⁰³⁾ Häufig werden die Bezeichnungen »inneres Oberlicht« und »äußeres Oberlicht« gebraucht. Wie schon bemerkt wurde, wird im Vorliegenden nur von ersterem, nicht aber von letzterem die Rede sein.

Glascheiben stattfinden kann. Bei Deckenlichtern von geringerer Ausdehnung ist meist keine besondere Vorkehrung zu treffen, weil man die Reinigung in der Regel von ihrem Umfange aus vornehmen kann; es wird also nur Vorkehrung zu treffen sein, daß die das Deckenlicht begrenzenden Streifen der Decke betreten werden können.

Bei größeren Deckenlichtern und Glasdecken hingegen hat man mehrfach Einrichtungen getroffen, durch welche das Begehen der verglasten Flächen, also auch das Vornehmen der Reinigung, von Ausbesserungen etc. möglich ist. Laufftege, wie sie bei Dachlichtern vorkommen²⁰⁴⁾, sind verhältnismäßig selten zur Anwendung gebracht worden; meist werden einzelne hierzu geeignete Tragesprossen oder andere hauptsächlich tragende Constructionstheile so stark ausgeführt, daß ein Laufbrett über dieselben gelegt werden und ein Arbeiter darauf treten kann.

Bisweilen hat man feste oder bewegliche Leitern zu gleichem Zwecke angeordnet; letztere laufen mit ihren Rollen in einem Abstände von ca. 20 bis 30 cm über der Glasfläche auf Schienen, welche an den aufrechten Stegen hierzu geeigneter Tragesprossen angebracht sind. Auch Rollwagen, deren Räder gleichfalls auf Schienengleisen fahren und die durch ein Triebwerk in Bewegung gesetzt werden, sind angewendet worden.

Bei einigen Ausführungen erfolgt die Säuberung der Glasflächen von Staub und Schmutz durch Abspülen mit Wasser; in einiger Höhe über der Glasdecke, z. B. längs des Firstes des über derselben befindlichen Daches etc., ist zu diesem Ende ein Wasserrohr angeordnet, oder es wird eine einfache, an die Wasserleitung angeschraubte Schlauchspritze in Anwendung gebracht. Es empfiehlt sich in diesem Falle, die Glasdecke ohne Quersprossen zu construiren und derselben ein entsprechendes Gefälle zu geben; das Spülwasser wird am besten nach einer kleinen Traufrinne mit Abfallrohr geleitet.

Wenn die Möglichkeit vorliegt, daß von oben aus schwerere Gegenstände (z. B. Bruchstücke von dem Dachlicht angehörigen Glascheiben etc.) auf die verglasten Deckenflächen fallen können, wodurch der Bruch einzelner ihrer Glascheiben hervorgerufen werden könnte, so ist die Gefahr vorhanden, daß die im darunter befindlichen Räume sich aufhaltenden Personen etc. beschädigt werden. In solchen Fällen muß über der verglasten Deckenfläche ein Gitterwerk oder ein Drahtnetz angeordnet werden, welches die herabfallenden Gegenstände aufzuhalten hat. Dasselbe bringt allerdings den Mißstand mit sich, daß es nicht allein den Lichteinfall etwas beeinträchtigt, sondern auch die Reinigung der Glasflächen erschwert. Letzterem Uebelstande ließe sich wohl dadurch abhelfen, daß man das schützende Drahtnetz unterhalb der verglasten Deckenfläche anbringt; allein das Aussehen der letzteren würde dadurch ein unschönes werden. Sind es sonach nur zerbrochene Glascheiben des über der Decke befindlichen Dachlichtes, welche gefürchtet werden, so wähle man am besten für letzteres eine Glasorte, die das Zerbrechen so gut wie ausschließt: Rohglas von genügender Dicke, Pfeshartglas oder, noch besser, Drahtglas.

418.
Schweißwasser-
bildung.

Wenn wärmere, stark angefeuchtete Luft die verglasten Theile der Decke an der Unterseite trifft, so wird sich an denselben, insbesondere an den die Wärme gut leitenden metallenen Constructionstheilen, Wasser in Tropfenform niederschlagen; dieses Schweiß-, Schwitz-, Beschlag- oder Condensationswasser darf weder die Erhellung

²⁰⁴⁾ Siehe Theil III, Band 2, Heft 5 (Abth. III, Abschn. 2, F, Kap. 42) dieses „Handbuchs“.

beeinträchtigen, noch von der Decke herabtropfen. Die Menge des sich niederschlagenden Wassers hängt einerseits von dem Maße ab, in welchem der Raum unter der Decke mit feuchtwarmer Luft gefüllt sein wird, andererseits davon, ob der Raum zwischen innerer Glasdecke und äußerem Dachlicht auf die Dauer genügend warm gehalten werden kann, so daß die verglasten Lichtflächen nicht zu stark abgekühlt werden.

Erhebt sich über dem Deckenlicht ein seitlich abgeöffneter Lichtschacht von genügender Höhe, so wird die auf ersteres ausgeübte Abkühlung nur eine sehr geringe und Vorkehrungen zur Abführung des Schweißwassers werden alsdann kaum notwendig sein. Würde man den Raum zwischen Decken- und Dachlicht völlig luftdicht abschließen können, so wäre jedem Beschlagen des ersteren vorgebeugt. Sobald jedoch über den verglasten Lichtflächen ein derartiger Lichtschacht fehlt, so wird zur kälteren Jahreszeit eine stärkere Abkühlung derselben kaum ausbleiben, insbesondere wenn die das Dachlicht umgebenden Dachflächen eine nicht zu dichte Eindeckung, namentlich eine solche ohne Bretterverchalung oder gar eine Metallddeckung, erhalten. Im letzteren Falle ist demnach ein bedeutenderes Beschlagen der Glasdecke zu erwarten, sobald die Luft unter derselben warm und stärker angefeuchtet ist, und es muß bei der Construction hierauf Rücksicht genommen werden.

In hierzu geeigneten Fällen besteht ein gut wirksames Mittel gegen die Schweißwasserbildung darin, daß man die Abluft-Canäle des unter der Glasdecke befindlichen Raumes, bzw. der benachbarten Räume in den Zwischenraum zwischen Decken- und Dachlicht leitet; da die Abluft immer warm sein wird, so werden die Glasflächen auch von oben erwärmt und das Entstehen von Schweißwasser dadurch vermieden.

Bisweilen hat man die Bildung von Schweißwasser an der Unterseite der Glasdecke dadurch zu verhüten versucht, daß man, ähnlich wie bei Schaufenstern, eine Luftunterpülung derselben bewirkt hat. Man hat z. B. zwischen der Unterkante der Glasdecke und der sie umschließenden Umrahmung einen freien Zwischenraum von einigen Centimetern Breite gelassen oder einen durchbrochenen Fries angeordnet; es herrscht alsdann ober- und unterhalb der Glasfläche eine fortwährende Luftbewegung; die Unterseite derselben wird abgekühlt, und das Beschlagen der letzteren wird nicht eintreten. Eine solche Unterpülung ist indess nicht leicht durchzuführen, und in nicht seltenen Fällen ist sie in Rücksicht auf die Benutzung des unter derselben befindlichen Raumes ausgeschlossen. Alsdann ist für Abführung des Schweißwassers Sorge zu tragen, was meist dadurch geschieht, daß man die Sprossen mit geeigneten Schweißwasserrinnen versieht; doch kann dies auch in der Weise bewirkt werden, daß man das Deckenlicht über die Decke hinaushebt, um das Schweißwasser über letztere hinaus ableiten zu können.

Der Zwischenraum zwischen verglasten Decken- und verglasten Dachfläche wird zur Sommerszeit durch die Sonnenstrahlen sehr stark erwärmt; die Folge davon ist, daß von der Glasdecke nach unten eine sehr bedeutende Wärmestrahlung ausgeht, wodurch nicht selten im Raume unter der Glasdecke eine geradezu unerträgliche Hitze entsteht. Um einen solchen Zustand zu verhüten, bringe man in den Dachflächen geeignete Oeffnungen an, die man im Winter schließen und durch welche man im Sommer den erforderlichen Luftumlauf hervorbringen kann. In England werden zu gleichem Zwecke die Dachlichter alljährlich mit weißer Farbe angestrichen. Ob durch Anwendung des von *Zsigmondy* erfundenen fog. Schirmglases (für Wärme-

419.
Wärme-
strahlung.

strahlen undurchlässiges Glas) dem in Rede stehenden Uebelstande wird abgeholfen werden können, bleibt abzuwarten ²⁰⁵⁾.

Dafs bei jeder, auf anderweitigem Wege erzielten Erwärmung der verglasten Deckenflächen von oben der gleiche Erfolg erzielt werden kann, ist selbstverständlich.

420.
Deckenlicht-
schächte.

Die Lichtschächte, welche sich über Deckenlichtern erheben, haben ähnlich wie die zur Lüftung, zur Aufnahme von Fahrstühlen etc. dienenden Schächte den Nachtheil, dafs sie bei ausbrechender Feuersgefahr die Verbreitung des Feuers in hohem Grade begünstigen. Deshalb ist eine thunlichst feuerichere Umschließung derselben zur Ausführung zu bringen.

Ist eine unmittelbare Unterstützung der Umfassungswände durch Mauern oder Träger zu ermöglichen, so sind dieselben massiv herzustellen; sonst mufs man sich mit einer Ausfüllung in Drahtputz, mit *Rabitz*-Wänden oder einer ähnlichen, als feuericher anzuerkennenden Construction begnügen. Die Umfassungswände sind mindestens 20 cm über die Dachfläche zu führen und dürfen mit Fenstern zur Erhellung der Dachbodenräume nicht versehen werden.

421.
Sprossen.

Für die Sprossen der verglasten Lichtflächen werden meist passende Formeisen gewählt. Es eignen sich hierzu sowohl hochkantig gestellte Flacheisen, T-, I- und +-Eisen, als auch die bekannten Fenster- oder Sprosseneisen (Fig. 618 u. 619 ²⁰⁶⁾).

Fig. 618.



Fig. 619.

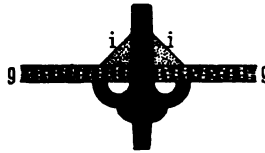


Fig. 620.

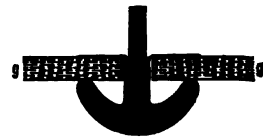
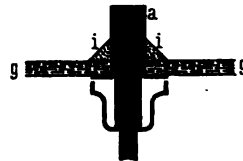


Fig. 621 ²⁰⁷⁾.



Fig. 622 ²⁰⁷⁾.



Die in die Auflagerflächen der letzteren bisweilen eingewalzten Rinnen können etwa von oben kommendes Wasser aufnehmen; doch erfüllen sie nicht immer diesen Zweck, weil sie sich durch Staub und Schmutz bald verfetzen. Für die Befestigung des Kittauflagers sind solche Rinnen indess ganz zweckmässig. Sollen hochkantig gestellte Flacheisen in Verwendung kommen, so müssen durch Kappen aus Zink, Kupfer- oder Bleiblech die erforderlichen Auflagerflächen geschaffen werden (Fig. 621 u. 622 ²⁰⁷⁾); diese Blechverkleidung kann auch dazu benutzt werden, etwa nothwendige Schweifswasserrinnen zu bilden.

Aufser eisernen Sprossen kommen auch solche aus Zink und aus Messing, selbst solche aus Holz zur Anwendung. Zinksprossen haben sich nicht bewährt, weil dieses

²⁰⁵⁾ Siehe: Polyt. Journ., Bd. 287, S. 17, 68, 108 — ferner: Journ. f. Gasb. u. Waff. 1893, S. 574, 592, 610 — endlich: Deutsche Bauz. 1894, S. 161.

²⁰⁶⁾ Siehe auch: Theil I, Band 1, erste Hälfte (Art. 280, S. 192, unter β [2. Aufl.: Art. 268, S. 241, unter b]) des Handbuches der Architektur.

²⁰⁷⁾ Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 245.

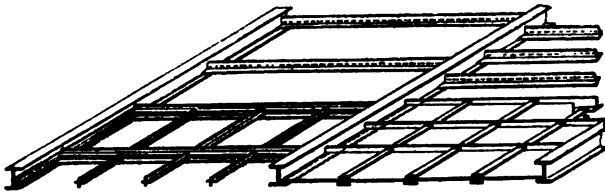
Metall eine nur geringe Tragfähigkeit besitzt und bei Temperaturschwankungen sehr bedeutende Längenänderungen zeigt; besser sind Sprossen aus Zink mit Eisenkern.

Die Haupttragesprossen, welche in 50 bis 60 cm Abstand verlegt werden, werden am besten aus Formeisen hergestellt; für die sie untertheilenden Zwischensprossen kann man unter Umständen auch Messing- und Holztheile benutzen (Fig. 623²⁰⁸).

Anders geformte Sprossen, namentlich die sog. Rinnensprossen, kommen hauptsächlich für verglaste Dächer und Dachlichter, sehr selten für Glasdecken und Deckenlichter zur Verwendung. In dieser Beziehung sowohl, als auch bezüglich mancher anderer Einzelheiten sei auf das in Theil III, Band 3, Heft 5 (Abth. III, Abschn. 2, F, Kap. 39: Verglaste Dächer und Dachlichter) des »Handbuches der Architektur« Vorgeführte verwiesen.

Die Anordnung der Sprossen in einem rechteckig geformten Deckenlicht gewöhnlicher Art erfolgt nach Art eines eisernen Rostes, wie dies Fig. 623²⁰⁸) zeigt. Bei

Fig. 623²⁰⁸).



andern gestalteten Deckenlichtern ist man in der Regel bestrebt, eine der Grundrissform angepasste, thunlichst regelmässige Sprossenvertheilung zu erzielen. Soll in der Verglasung ein geometrisches Muster erscheinen, so ist letzteres für die Sprossenordnung massgebend.

Während bei der Berechnung von verglasten Dächern und Dachlichtern ausser dem Eigengewicht der Construction auch die Beanspruchung durch Winddruck und Schneelast zu berücksichtigen ist, kommen bei Glasdecken und Deckenlichtern vielfach nur die vom Eigengewicht herrührenden Beanspruchungen in Frage, so dass die Querschnitte der Haupttragesprossen hiernach zu ermitteln sind²⁰⁹). Wenn indess bei grösseren Glasdächern die Möglichkeit geboten sein soll, dass Arbeiter unmittelbar über den Glasflächen Ausbesserungen, Reinigungen etc. vornehmen können, so muss bei Berechnung der Trag-Construction das Gewicht dieser Arbeiter, der von ihnen mitgeführten Geräthe etc. mitberücksichtigt werden.

Die Glascheiben werden meist in Kittfalze oder in Bleifassungen verlegt. Bei Sprossen aus L- und T-Eisen und solchen aus Fenstereisen ist, wie Fig. 618 u. 619 zeigen, das Einbetten in Kitt *i* ohne Weiteres möglich. Besteht die Sprosse aus hochkantig gestelltem Flacheisen, so bietet entweder der Zinkmantel die Möglichkeit dar, die Glascheiben in Kitt zu verlegen (Fig. 621), oder man setzt auf das Flacheisen zunächst eine Kappe *a* (Fig. 622) auf, die man am besten aus verbleitem Eisenblech herstellt, und auf den wagrechten Lappen dieser Kappe können die Glascheiben *g* in Kitt *i* gelagert werden.

Auf der Oberseite von L- und T-Eisen lassen sich Kittfalze nicht in genügend einfacher Weise bilden; auch geht bei letzteren in Folge von Bewegungen die erforderliche Dichtigkeit nicht selten verloren, und wenn das Eindringen von Wasser zu befürchten ist, so schützt man wohl auch den Kittfalz durch Deckleisten von Holz, Blei oder Zink. Diese Mifsstände sind bei Bleifassungen nicht vorhanden. Letztere werden am einfachsten durch Verwendung sog. Bleirippen hergestellt, wie sie z. B.

²⁰⁸) Facf.-Repr. nach: Baukunde des Architekten. Bd. I, Theil 1. Berlin 1890. S. 568.

²⁰⁹) Die einschlägigen Formen und Zahlenwerthe sind an der eben genannten Stelle des »Handbuches der Architektur« zu finden.

Grover & Co. in Längen von ca. 5,5 m erzeugen. Fig. 624, *a*²¹⁰⁾ stellt eine solche Rippe ohne Glaseinlage dar; dieselbe wird auf einer Holzunterlage mit Kupfernägeln befestigt und nach dem Einlegen der Glasscheibe entsprechend umgebogen, wodurch ein dichter Anschluß entsteht. Fig. 624, *b* zeigt die Verwendung der Bleirippen für hölzerne Sprossen und Fig. 624, *c* für solche aus T- und I-Eisen.

In Fig. 620 ist die von *Mackenzie* angegebene Bleifassung dargestellt; durch dieselbe wird der grösste Theil des Fenster eisens eingehüllt, und auch die beiden Rinnen sind mit Blei ausgefüllt.

Bleifassungen gewähren noch den weiteren Vortheil, daß sie nicht eine unveränderlich feste Verbindung zwischen Glasscheibe und Sprosse herstellen, so daß bei starken Temperaturänderungen eine gewisse Beweglichkeit der einzelnen Constructionstheile möglich ist und die Glastafeln vor Bruch bewahrt sind; auch sei erwähnt, daß die Bildung von Schweißwasser fast ganz vermieden ist, da sich die Temperatur innen und außen nahezu vollständig ausgleicht.

Große Glastafeln hat man wohl auch ganz frei auf die Tragesprossen gelagert; Stossfugen werden durch zwischengelegte, den Fensterbleien ähnliche, gezogene Messingstreifen gedichtet.

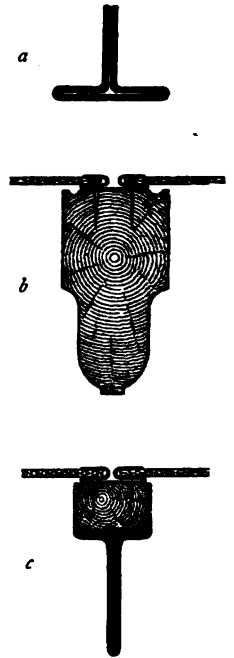
Die Verglasung wird entweder mit gewöhnlichem, völlig durchsichtigem Glase oder, wenn man die über der Glasdecke befindlichen Räume oder Constructionstheile nicht sichtbar werden lassen will, mit matt geschliffenem Glase bewirkt; bisweilen verzieht man das letztere wohl auch mit einem dem Auge angenehmen Muster. Wenn die Scheiben nicht zu groß sind, so genügt in der Regel Fensterglasstärke.

Hat man die Absicht, gewisse Stimmungen oder Lichtwirkungen zu erzielen, so verwendet man farbiges Glas; bei reich ausgestatteten Glasdecken werden Gläser in verschiedenen Farben gewählt und zu einem nach geometrischem Muster oder in ornamentaler Weise geordneten, harmonisch wirkenden Ganzen zusammengefügt. Für die Ausbildung derartiger farbenreicher Glasdecken sei an dieser Stelle in Fig. 625²¹¹⁾ ein einschlägiges Beispiel hinzugefügt.

Im Gebäude des *Comptoir d'escompte* zu Paris hat *Corroyer* in der *Salle des titres* die einzelnen Felder der Glasdecke, welche durch die Längs- und Quersprossen gebildet werden, nicht durch in gleicher Ebene gelegene Glasscheiben ausgefüllt, sondern die letzteren nach Art einer nach unten hängenden abgestumpften Pyramide angeordnet²¹²⁾.

Um Schweißwasserbildung zu vermeiden, hat man in einigen Fällen das Deckenlicht mit doppelter Verglasung versehen, welche eine völlig abgeschlossene Luftschicht einschließt; letztere verhütet die Wirkungen einer von oben eintretenden Abkühlung.

Die constructive Durchbildung von verglasten Decken und Deckenlichtern ist in ziemlich verschiedener Weise ausgeführt worden. Im Nachstehenden sollen dieselben unterschieden werden in:

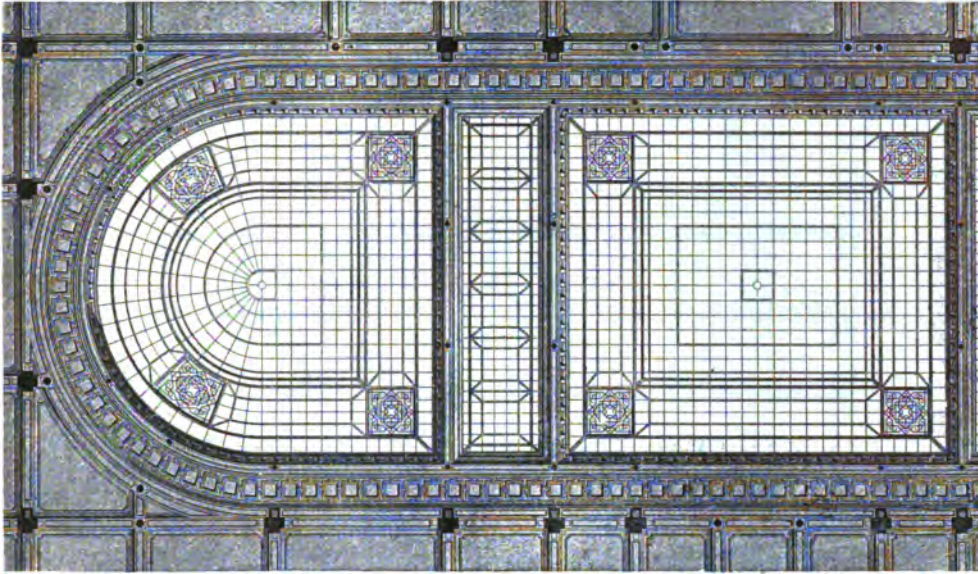
Fig. 624²¹⁰⁾.

²¹⁰⁾ Nach: Deutsche Bauz. 1887, S. 417.

²¹¹⁾ Facf.-Repr. nach: *Encyclopedie d'arch.* 1880, Pl. 653.

²¹²⁾ Siehe: Fortschritte Nr. 2, S. 21 u. Fig. 38 (S. 23).

Fig. 625.



Von den *Magasins du Bon Marché* zu Paris ²¹¹⁾.

¹/₃₀₀ n. Gr.

- 1) folche, welche in eine tragende Decken-Construccion eingefügt sind;
- 2) folche, welche an einem Dachstuhl aufgehängt oder in anderer Weise mit demselben verbunden sind, und
- 3) folche, welche durch besondere Trag-Construccionen gestützt werden.

Nicht alle einschlägigen Ausführungen lassen sich in eine dieser drei Gruppen einreihen, da sie nicht selten eine Vereinigung von zwei verschiedenen Anordnungen darstellen.

2) In tragende Decken-Construccionen eingefügte Deckenlichter.

Wenn ein Deckenlicht in eine tragende Decken-Construccion eingefügt oder über einem Raume eine durchweg verglaste Decke hergestellt werden soll, so ist stets ein Rahmen erforderlich, der die verglasten Deckenflächen umfaßt und welcher dem aus den Tragesprossen gebildeten Roß als Auflager dient. Die Anordnung ist verschieden, je nachdem das Deckenlicht in eine Balken-, oder in eine gewölbte Decke eingesetzt wird.

424.
Deckenlichter
in
Balkendecken.

Auch bei den in Balkendecken eingefügten Deckenlichtern herrscht bezüglich der constructiven Anordnung ziemliche Mannigfaltigkeit; die bemerkenswertheften Herstellungsweisen seien im Folgenden vorgeführt.

α) Ist das Deckenlicht in eine hölzerne Balkendecke einzusetzen, so wird, obwohl selten, der dasselbe umfassende Rahmen in Holz hergestellt. Fig. 627 ²¹³⁾ zeigt eine folche Ausführung.

Die Rahmenhölzer sind seitlich an die Deckenbalken angeschraubt, und damit die ganze Construc-tion ein leichteres Aussehen gewinnt, sind die mittleren Deckenbalken schwächer gehalten und mittels Hängesäulen mit dem Dachstuhl verbunden.

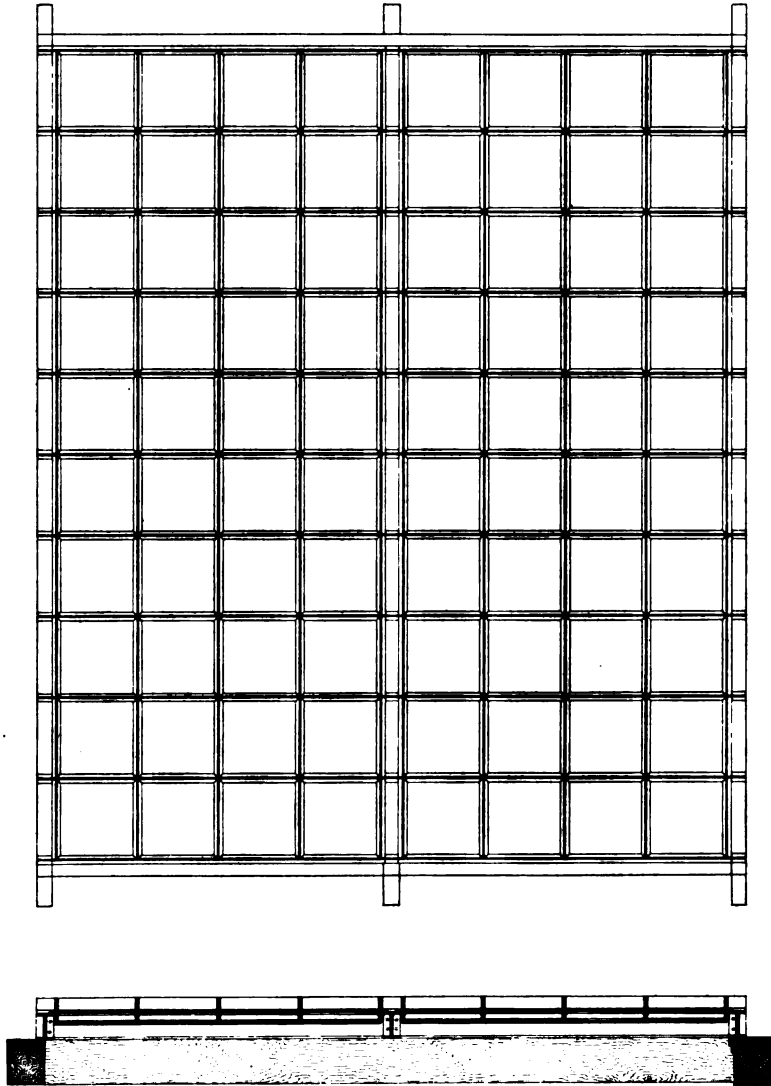
β) Viel häufiger wird der Rahmen aus Formeisen hergestellt, und es eignen hierzu sich insbesondere I-Eisen. Sind die Grundrissabmessungen des Deckenlichtes

²¹³⁾ Nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 14.

so groÙe, daÙ der aus den Tragesprossen gebildete Rost sich nicht frei trägt, so werden, wie Fig. 626 zeigt, ein oder auch mehrere Zwischenträger angeordnet.

In Fig. 626 ist der aus I-Eisen gebildete Rahmen auf die Holzbalken der tragenden Decke gelegt; auf diesem Rahmen, so wie auf einem eingeschalteten Zwischenträger ruht der aus Sprosseneisen zusammen-
gesetzte Rost, in den die eingekitteten Glastafeln eingefügt sind.

Fig. 626.



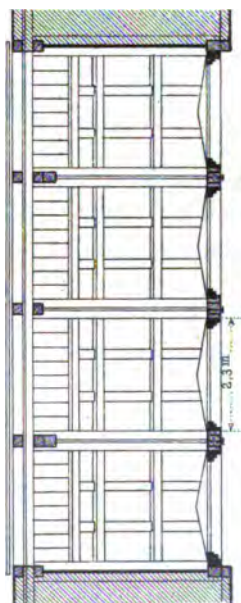
Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.

$\frac{1}{50}$ n. Gr.

7) Eiserne Rahmen ähnlicher Art werden auch verwendet, wenn über einem Raume eine durchwegs verglaste Decke auszuführen ist. Durch Fig. 629 ist eine derartige Anordnung veranschaulicht.

Die tragenden I-Eisen sind hier von einer Längsmauer zur anderen gestreckt und an den Enden eingemauert; an diesen Längsmauern sind eingeschobene I-Eisenstücke verlegt und mit den erstgedachten I-Trägern durch Winkellaschen verbunden.

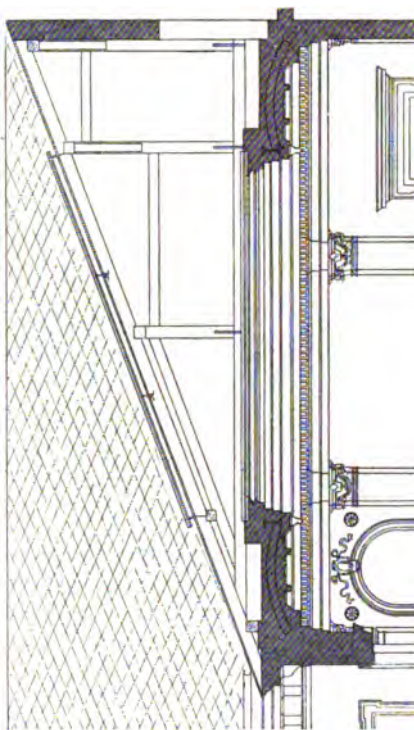
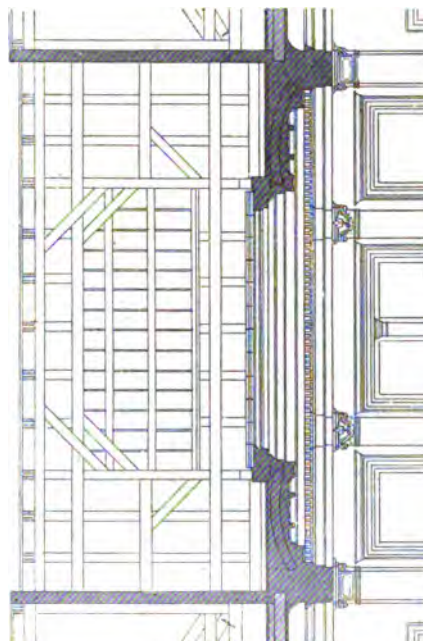
Fig. 627 ²¹³).



1/150 n. Gr.



Fig. 628.



Von der Kunstgewerbeschule des österreichischen Museums zu Wien ²¹⁴).

1/125 n. Gr.

Fig. 629.



Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.

$\frac{1}{50}$ n. Gr.

425.
Deckenlichter
mit
Hohlkehlen.

Größere, von oben zu erhellende Räume erhalten nicht selten ein central angeordnetes Deckenlicht, dessen Umrahmung in der Weise gebildet wird, daß man der Länge und der Quere nach je zwei schmiedeeiserne I-Träger (Walzbalken oder bei größeren Abmessungen Blechträger) verlegt; auf letzteren ruht das Sprossenwerk des Deckenlichtes. Der Zwischenraum zwischen jedem dieser Träger und der nächst gelegenen Umfassungsmauer wird alsdann durch ein zwischengespanntes Kappengewölbe ausgefüllt, welches eben so die in Stuck etc. auszubildende Decke trägt, wie auch unter Umständen den Fußboden des darüber gelegenen Raumes.

In verhältnißmäßig seltenen Fällen liegen die beiden Kämpferlinien dieser Gewölbe in gleicher oder doch nahezu gleicher Höhe (Fig. 628²¹⁴); viel häufiger kommt es vor, daß dieselben von den I-Trägern aus nach den Umfassungsmauern zu erheblich abfallen und alsdann sog. Decken-Hohlkehlen oder Vouten bilden (Fig. 630²¹⁵); ja es fehlt nicht an Beispielen, wo sich diese Hohlkehlen mit Stichkappen an die Rahmenträger anschließen. Würde man nun diese Hohlkehlen als wirkliches Spiegelgewölbe construiren, so hätte dieses auch die Last der Rahmenträger aufzunehmen, und die gesammte Construction wäre erst im nächstfolgenden Artikel (bei den in gewölbte Decken eingefügten Deckenlichtern) zu besprechen. Um jedoch das für ein Spiegelgewölbe erforderliche kräftige Widerlager zu umgehen, ist es vortheilhafter und wird meistens auch so ausgeführt, daß man die Rahmenträger des Deckenlichtes bis auf die Umfassungsmauern des betreffenden Raumes überstreckt und dieselben so als selbständige Träger gestaltet; sie bilden zugleich das eine Widerlager für das Hohlkehlengewölbe. In Fig. 631²¹⁶ ist eine flachere und in Fig. 632²¹⁶ eine steilere Hohlkehle dieser Art dargestellt; die eisernen Rahmenträger sind nicht sichtbar, sondern mit Stuck umhüllt. In neuerer Zeit werden diese Hohlkehlen auch aus *Rabitz*- oder aus *Monier*-Masse hergestellt (Fig. 633²¹⁷).

Anstatt die Hohlkehlen in der einen oder anderen Weise massiv zu construiren, kann man dieselben auch nach dem sonst üblichen Verfahren aus Holz mit Putzverkleidung herstellen; ja man hat an deren Stelle bisweilen nur einen schräg ansteigenden Deckenstreifen aus Holz zur Ausführung gebracht (Fig. 635²¹⁸).

Schließlich sei auch noch auf das in Art. 229 (S. 336) über die Construction und Berechnung von Spiegelgewölben in Eisen und Stein Gefagte verwiesen.

426.
Deckenlichter
in
gewölbten
Decken.

Soll in eine gewölbte Decke ein Deckenlicht eingesetzt werden, so ist gleichfalls ein dasselbe begrenzender eiserner Rahmen anzuordnen, in welchem der Sprossenrost lagert, der die Verglasung aufzunehmen hat. Bei Tonnengewölben wird das

²¹⁴) Nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 73.

²¹⁵) Nach ebendaf. 1874, Bl. 10.

²¹⁶) Facf.-Repr. nach ebendaf., Bl. 8, 9.

²¹⁷) Facf.-Repr. nach: Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, Bl. 24.

²¹⁸) Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 57.

Fig. 630.

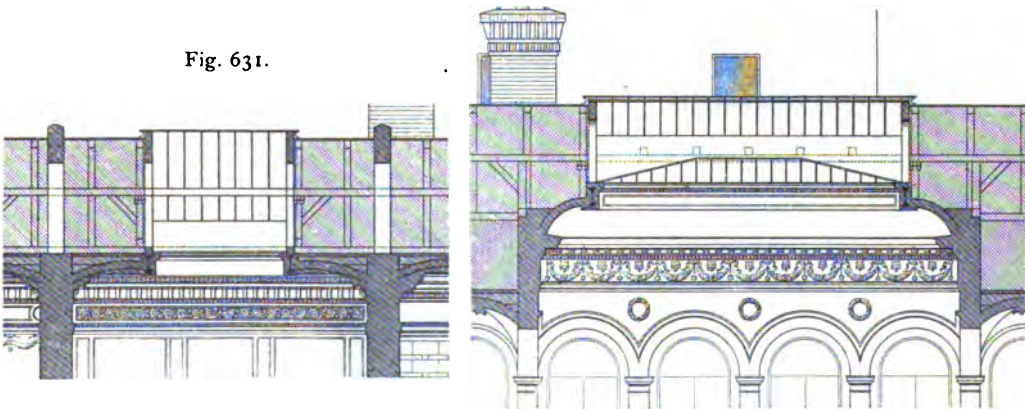
Vom römischen Bad am Praterstern zu Wien ²¹⁵⁾.

Deckenlicht im Grundriss meist rechteckig, bei sphärischen Gewölben meist kreisrund oder elliptisch gestaltet sein.

In Fig. 634 ²¹⁹⁾ ist ein in ein Tonnengewölbe eingefügtes Deckenlicht, in Fig. 636 ²²⁰⁾ ein solches, das in eine Kugelkappe, und in Fig. 637 eines, welches in ein Kuppelgewölbe eingesetzt ist, dargestellt.

Fig. 632.

Fig. 631.

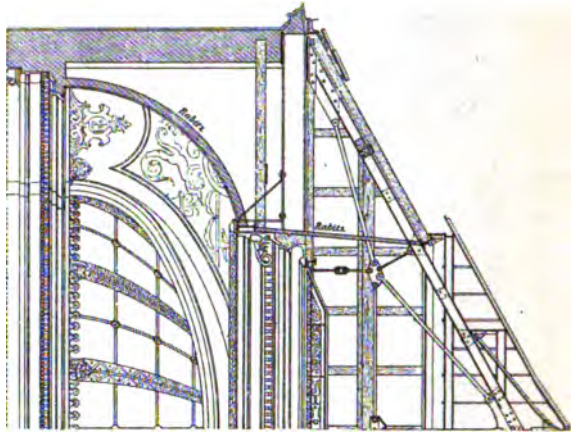
Vom römischen Bad am Praterstern zu Wien ²¹⁶⁾.

$\frac{1}{150}$ n. Gr.

²¹⁹⁾ Facf.-Repr. nach: Zeitschr. f. Bauw. 1877, Bl. 58 u. 59.

²²⁰⁾ Facf.-Repr. nach ebendaf.

Fig. 633.



1900 n. Cr.

Vom Hôtel Royal zu Hannover 217).

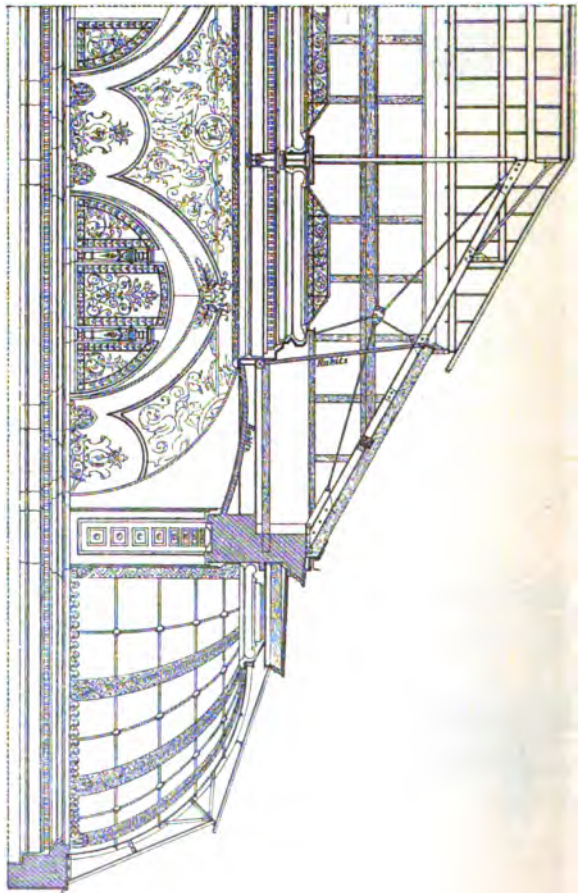
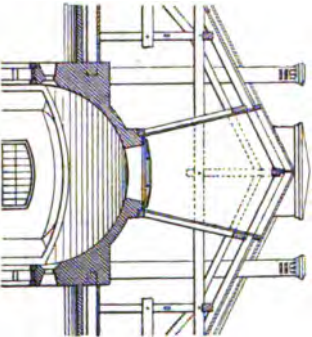


Fig. 634.



1900 n. Cr.

Von der Straßentafel am Plötzen-See bei Berlin 219).

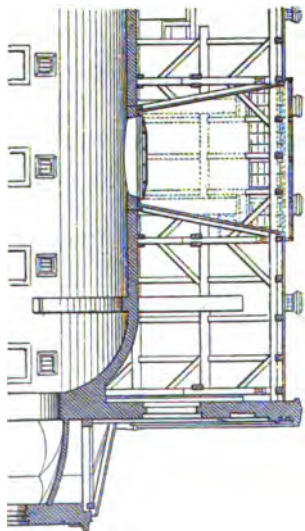
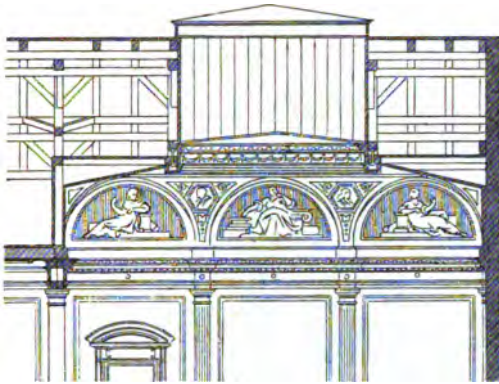
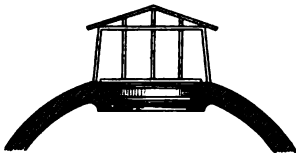


Fig. 635.



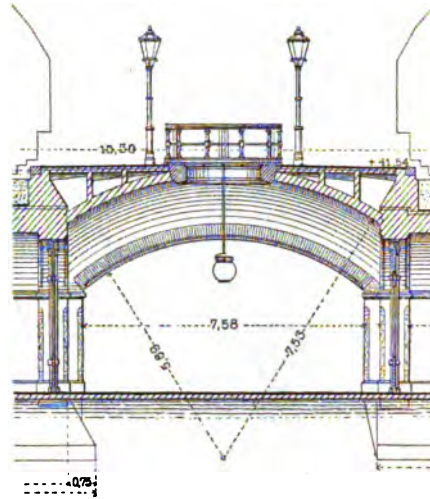
Vom Realgymnasium zu Karlsruhe ²¹⁸⁾.

Fig. 637.



$\frac{1}{200}$ n. Gr.

Fig. 636.



Von der Haltestelle Zoologischer Garten der Berliner Stadt-Eisenbahn ²²⁰⁾.

$\frac{1}{200}$ n. Gr.

3) An Dachstühlen hängende oder in anderer Weise damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken.

Wenn ein Deckenlicht grössere Abmessungen zu erhalten hat oder wenn die Decke, in welche dasselbe einzusetzen ist, nicht kräftig genug construirt ist, um auch das Gewicht der verglasten Lichtflächenanlage mittragen zu können, so findet sehr häufig das Aufhängen der letzteren an den darüber befindlichen Dachstuhl statt. In der Regel wird der das Deckenlicht begrenzende Rahmen mittels eiserner Hängestangen mit einem dazu geeigneten Constructionstheil des Dachstuhles verbunden; bei grösseren Anlagen werden aber auch Haupttragesprossen der verglasten Lichtflächen an das Dachwerk gehängt.

Wenn zunächst hölzerne Dachstühle, an denen Deckenlichter aufgehängt sind, berücksichtigt werden sollen, so zeigt Fig. 638 ²²¹⁾ eine sehr einfache Ausführung dieser Art. Aus der Abbildung ist leicht zu ersehen, wie der hölzerne Rahmen des Deckenlichtes mittels eiserner Hängestangen an den Sparren des Dachstuhles hängt.

Eine etwas grössere einschlägige Anlage ist durch Fig. 639 ²²²⁾ veranschaulicht. Die eisernen Hängestangen, welche den Deckenlichtrahmen tragen, sind an den Pfetten befestigt; über dem Dachfirst ist eine Laterne aufgesetzt, deren lothrechte Längswände verglast sind; die Dachflächen sind mit Schiefer eingedeckt.

Ein weiteres Beispiel ist in Fig. 642 ²²³⁾ dargestellt. Hier sind es die Stichbalken der hölzernen Balkendecke, welche mittels eiserner Stangen an die Dachconstruction aufgehängt sind.

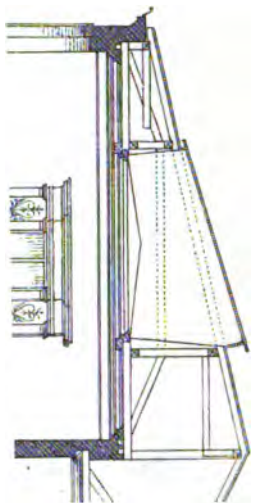
427.
Deckenlichter,
an
hölzernen
Dachstühlen
hängend.

²²¹⁾ Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1883, Bl. 24.

²²²⁾ Facf.-Repr. nach ebendaf., 1884, Bl. 24.

²²³⁾ Facf.-Repr. nach: Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1887, Bl. 11.

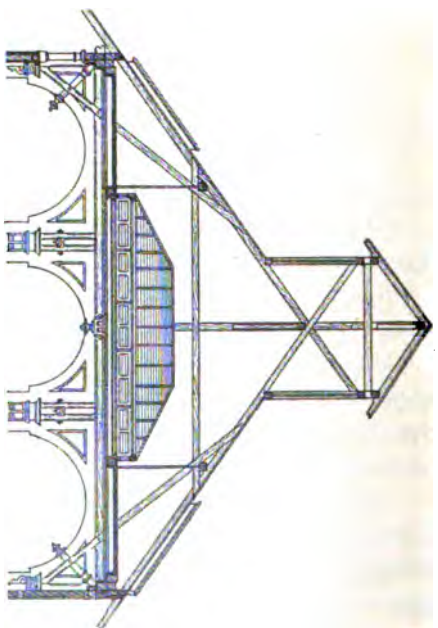
Fig. 638.



Vom physiologischen Institut der Universität
zu Heidelberg 281).

1/200 n. Gr.

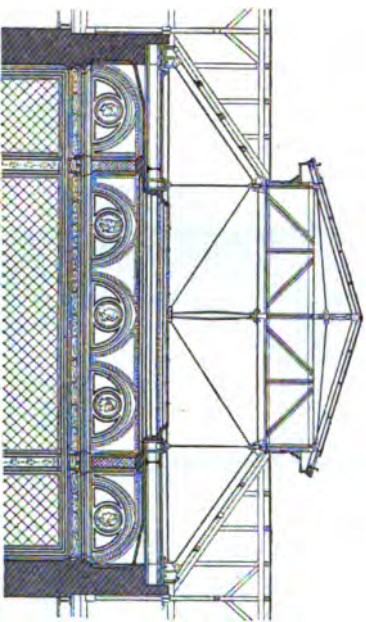
Fig. 639.



Von der Reitbahn von *Benjamin Roth Söhne*
zu Frankfurt a. M. 232).

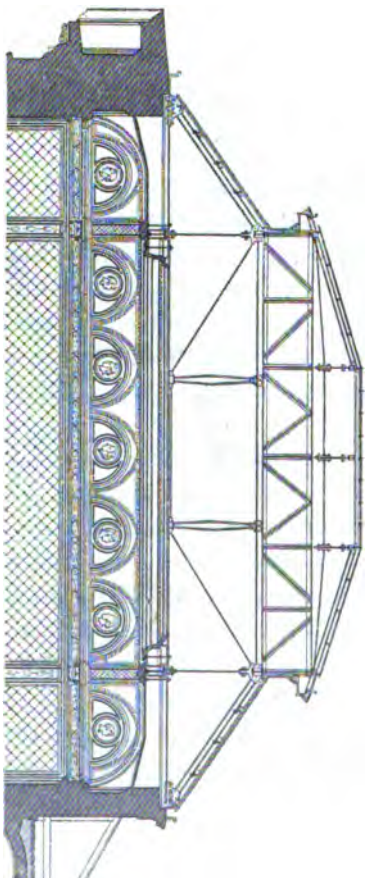
1/200 n. Gr.

Fig. 640.



Vom Lesesaal der Universitäts-Bibliothek zu Budapest 224).

1/200 n. Gr.



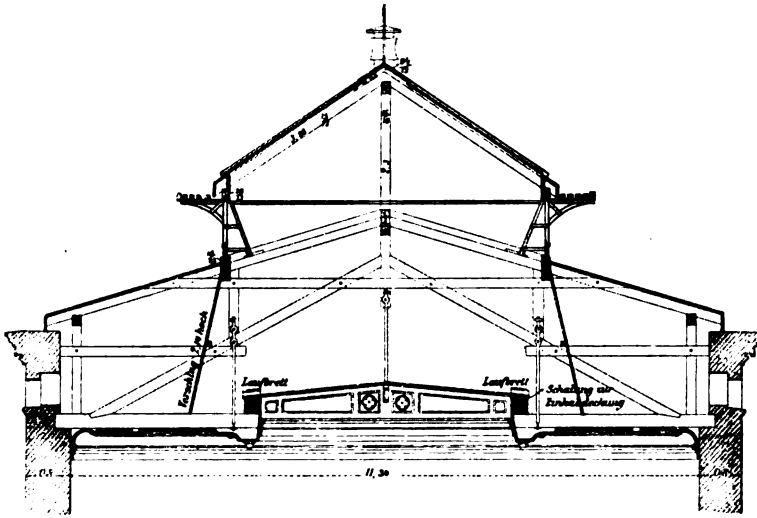
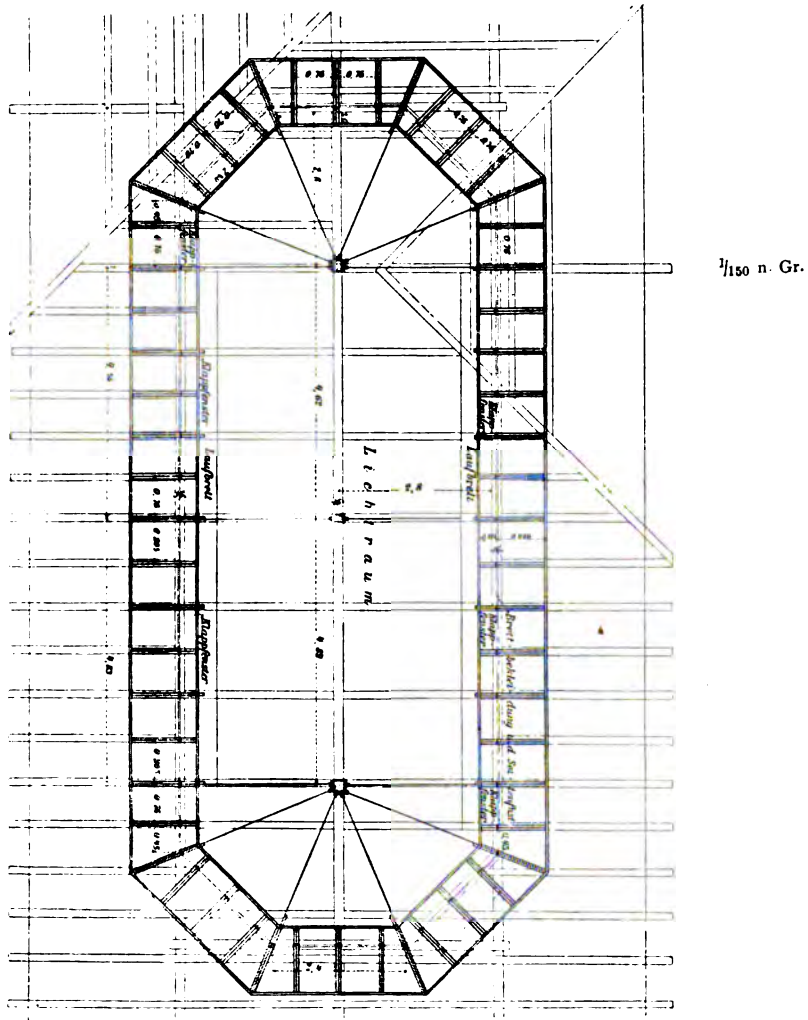


Fig. 641.



Vom Lefesaal der Universitäts-Bibliothek zu Göttingen ²²³⁾.

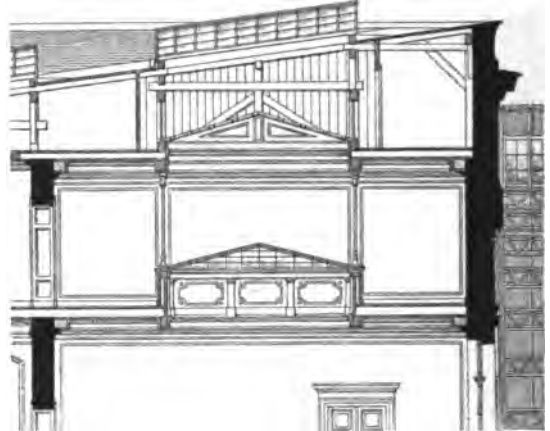
Handbuch der Architektur. III. 2, c.

37

Dieses über einem großen Leseaal angeordnete Deckenlicht wurde nachträglich zur Ausführung gebracht, nachdem bereits das Dach eingedeckt worden war. Die in der Dachfläche vorhandenen Kehlen gaben Veranlassung zu den in Form von halben Achtecken hergestellten Endigungen des Deckenlichtes. Der über letzterem sich erhebende, durch eine Bretterverschalung gebildete Lichtschacht hat behufs Durchlüftung Klappenfenster erhalten; gleichem Zwecke dienen vier Luftsauger, welche auf der Zinkeindeckung des Dachfirstes aufsitzen. Die Verglasung ist mit 3 mm dickem, mattirtem Glas bewirkt worden; für bequeme Reinigung der Scheiben wurden Laufbretter angeordnet.

Die durch Fig. 642²²⁵⁾ vorgesehene Ausführung unterscheidet sich von den Constructionen in Fig. 638, 640 u. 641 hauptsächlich dadurch, daß in zwei über einander gelegenen Räumen Deckenlichter angeordnet sind; beide sind an dem darüber befindlichen hölzernen Dachstuhl aufgehängt, der auch das Dachlicht trägt.

Fig. 642.



Vom Empfangsgebäude der Berlin-Potsdam-Magdeburger Eisenbahn zu Berlin²²⁵⁾.

1/200 n. Gr.

428.
Dachlichter,
an
eiserne
Dachstühle
hängend.

Für das Aufhängen von Deckenlichtern und verglasten Decken eignen sich im Allgemeinen eiserne Dachstühle mehr als solche aus Holz, weil bei ersteren die verschiedenen Constructionstheile viel kleinere Querschnittsabmessungen haben und dadurch der Lichteinfall erheblich begünstigt wird; auch hat man bei eisernen Dachwerken in der Anordnung der hauptsächlich in Frage kommenden Constructionstheile meist viel freiere Hand als bei hölzernen.

Das Aufhängen geschieht hier gleichfalls in der Weise, daß man entweder den das Deckenlicht begrenzenden Rahmen oder bei größeren Anlagen die Hauptträger der verglasten Lichtflächen mittels eiserner Stangen mit hierzu geeigneten Constructionstheilen des Dachstuhles verbindet. Da die beiden Eisen-Constructionen, namentlich zur Winterszeit, ziemlich verschiedenen Wärmegraden ausgesetzt sind, so empfiehlt es sich, die Anordnung so zu treffen, daß dieselben unabhängig von einander kleine Bewegungen machen können.

Ein Deckenlicht, dessen Umfassungsrahmen an den Dachstuhl aufgehängt ist, ist in Fig. 643²²⁶⁾ dargestellt; dasselbe zeigt in constructiver Beziehung auch eine Verwandtschaft mit den in Art. 425 (S. 572) besprochenen Anlagen.

Fig. 640²²⁴⁾ zeigt eine Ausführung, bei welcher der das Deckenlicht einfassende Rahmen aus Blechträgern constructirt und mittels lothrechter eiserner Stangen an die Dachpfetten angehängt ist; überdies sind auch die Querträger des Deckenlichtes durch ein Hängewerk mit dem Dachstuhl verbunden.

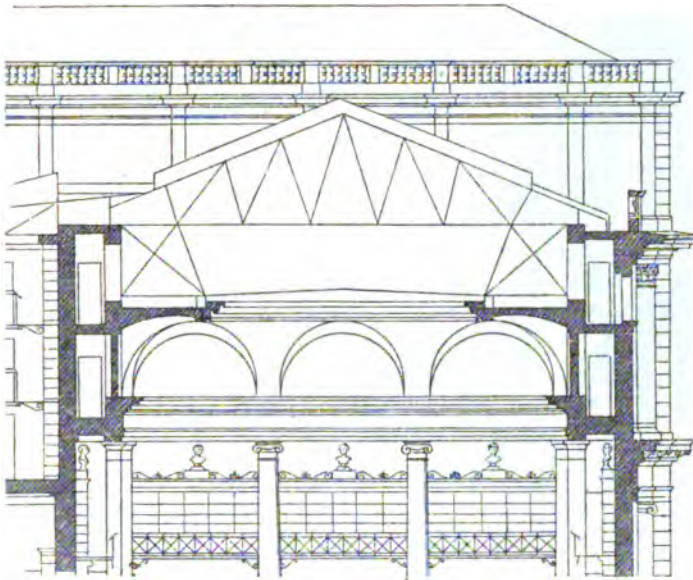
Die breite, durch Stichkappen unterbrochene Hohlkehle, welche das Deckenlicht umrahmt, ist durch Zwickelfiguren, die Künste und Wissenschaften darstellend, geziert, unter denen sich Portrait-Medaillons hervorragender Vertreter derselben befinden.

²²⁴⁾ Facf.-Repr. nach ebendaf. 1880, Bl. 28.

²²⁵⁾ Facf.-Repr. nach: Zeitschr. f. Bauw. 1877, Bl. 2.

²²⁶⁾ Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 40.

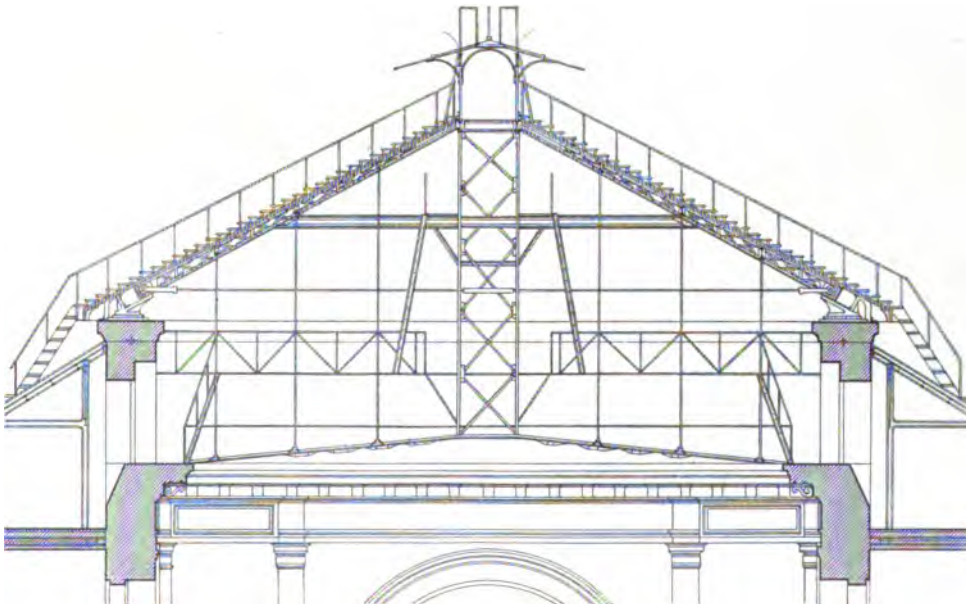
Fig. 643.



Von der Universitäts-Bibliothek zu Wien ²²⁶).

$\frac{1}{250}$ n. Gr.

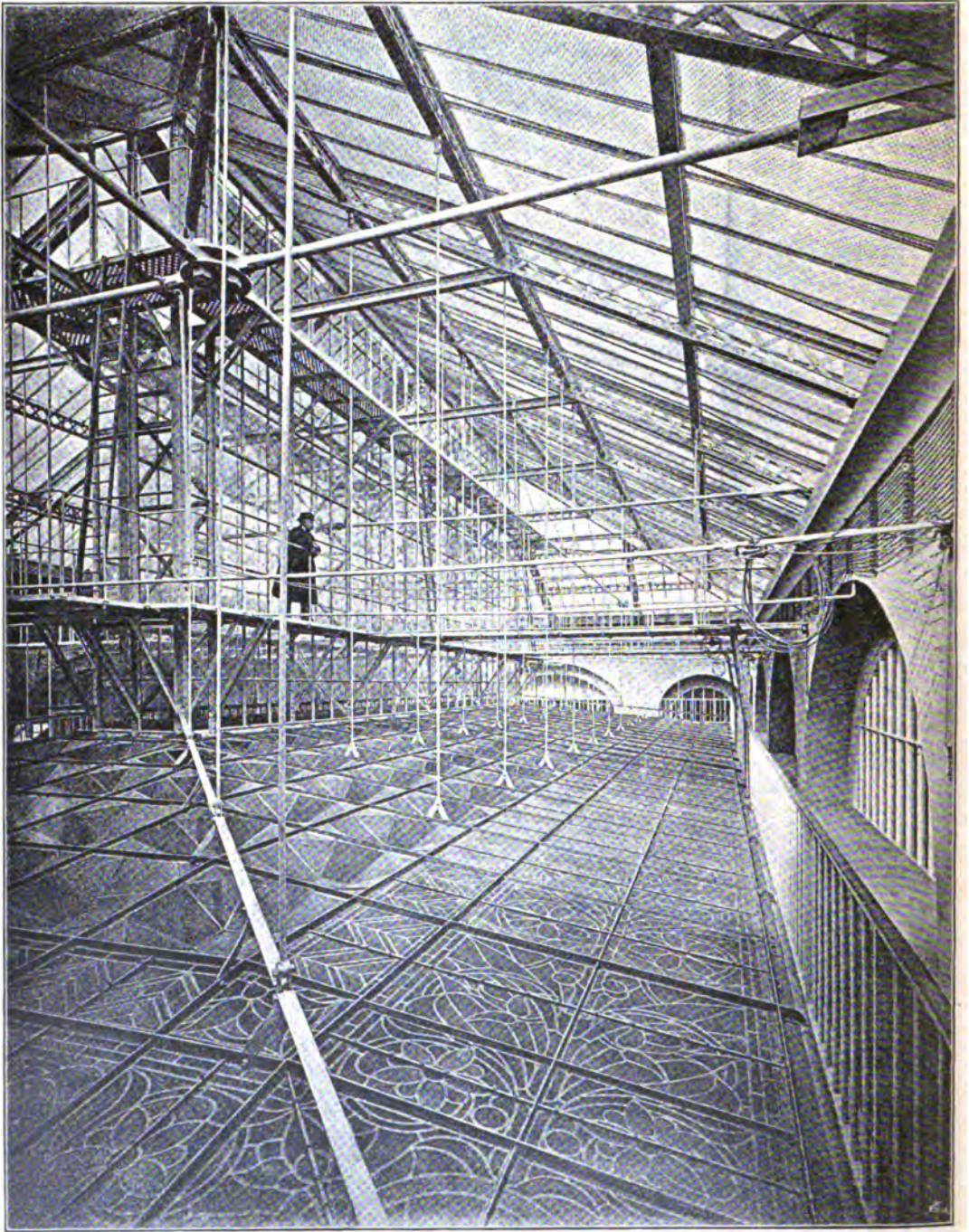
Fig. 644.



Von der Salle des titres im Comptoir d'escompte zu Paris ²²⁷).

$\frac{1}{200}$ n. Gr.

Fig. 645.

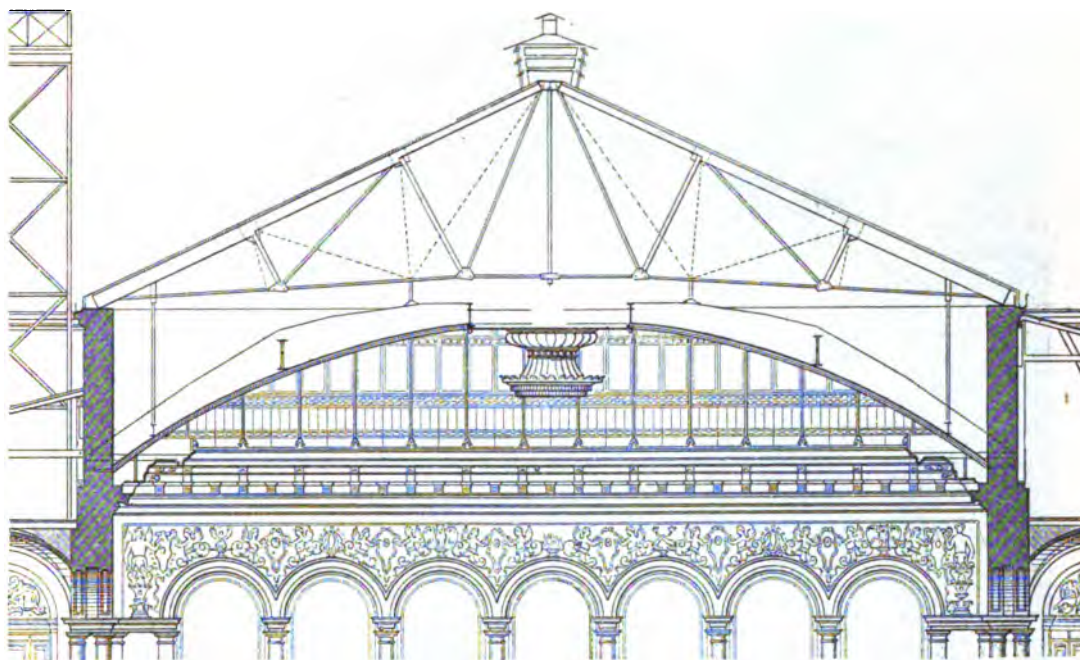


Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris ²²⁸).

Als erstes Beispiel einer verglasten Decke diene die in Fig. 644²²⁷⁾ im Schnitt veranschaulichte Anlage. Die Hauptträger der Verglasung sind mittels loth-rechter Eisenstangen an die Dachsparren gehängt, und Fig. 645²²⁸⁾ giebt eine schaubildliche Darstellung des Raumes zwischen Decke und darüber befindlichem Dachlicht.

Der eigenartigen Anordnung der Glascheiben wurde bereits in Art. 422 (S. 568) gedacht. Aus Fig. 644 u. 645 sind auch die Laufstege zu ersehen, welche sich über die ganze Decke erstrecken und jeden Theil derselben zugänglich machen.

Fig. 646.



Vom großen Lichthof der technischen Hochschule zu Berlin-Charlottenburg²²⁹⁾.

1/200 n. Gr.

Eine verglaste Decke von bedeutenden Abmessungen, jene über dem großen Lichthof der technischen Hochschule zu Berlin-Charlottenburg, zeigt Fig. 646²²⁹⁾. Dieselbe ist nach oben zu gewölbt und an das darüber befindliche eiserne Zeltdach gehängt.

Sie hat Bleiverglasung erhalten, und dicht über ihr liegt noch eine zweite Glasdecke von gewöhnlichem Doppelglas in Kitt, um Staub und Schmutz von der ersteren abzuhalten. Diese Decke kann mittels gewöhnlicher Gartensprenghähne gereinigt werden; das abfließende Wasser wird in Blechrinnen gesammelt und durch die Regenfallrohre abgeführt.

Auch die aus Fig. 647²³⁰⁾ ersichtliche Glasdeckenanordnung hat beträchtliche Abmessungen; der darunter befindliche Saal hat 255 qm Grundfläche.

²²⁷⁾ Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 534.

²²⁸⁾ Facf.-Repr. nach: *Moniteur des arch.* 1885, Pl. 1.

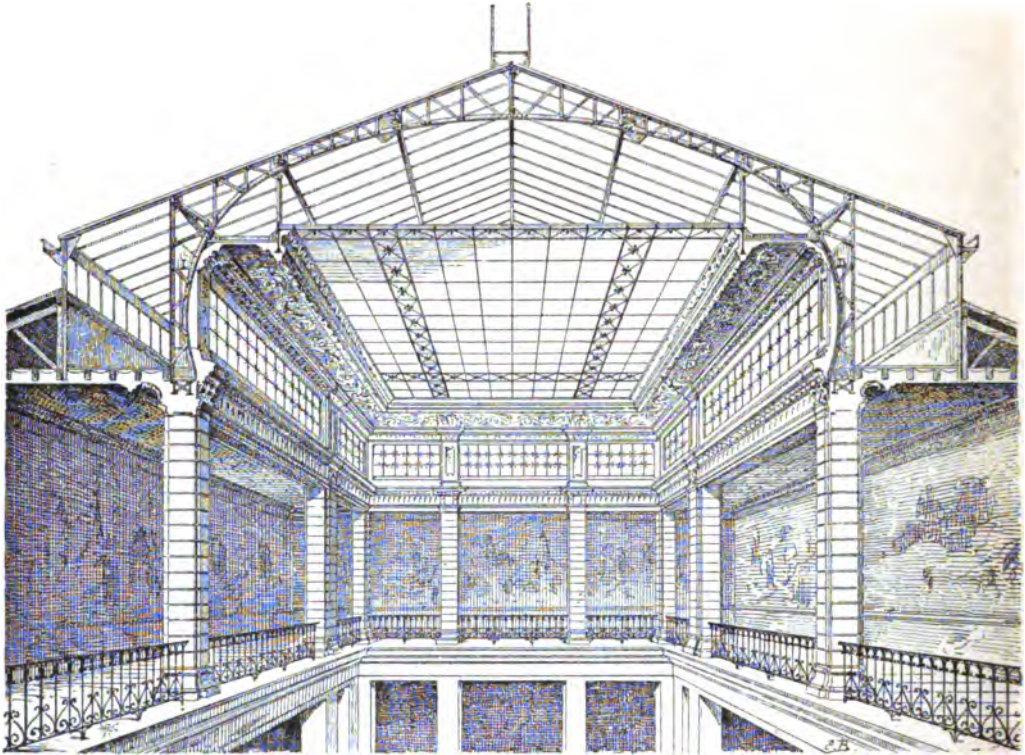
²²⁹⁾ Facf.-Repr. nach: *Zeitschr. f. Bauw.* 1886, Bl. 23.

²³⁰⁾ Facf.-Repr. nach: *La construction moderne*, Jahrg. 8, S. 537.

Die eigenartig geformten Dachbinder bilden mit ihren nach außen gekehrten lothrechten Theilen die Stützen für die Galerie-Anlage, welche den Saal rings umgiebt. Der die Decke einschließende, als Blechträger construirte Rahmen ist an die Dachbinder aufgehängt.

In Fig. 648 u. 649²³¹⁾ ist eine reich gegliederte Glasdecke aus Paris dargestellt. Die 6,8^m breiten Mitteltheile derselben sind als abgestumpfte Pyramiden ausgebildet; der dieselben stützende Rahmen ruht auf Eisensäulen, wodurch sich diese

Fig. 647.



Von der *Banque Secrestat* zu Bordeaux²³⁰⁾.

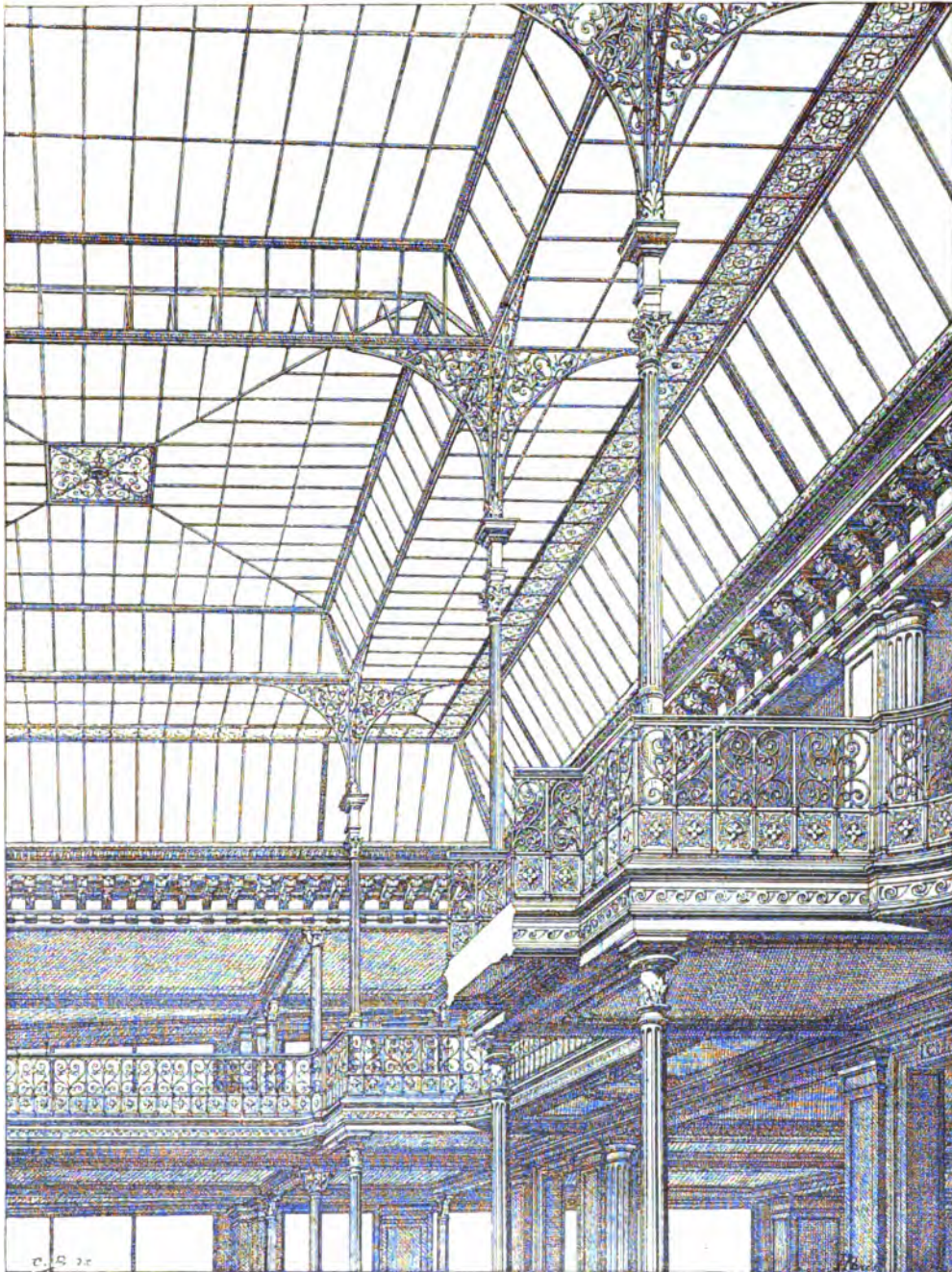
Decke den unter 4 vorzuführenden Constructionen nähert. Im Uebrigen ist die Glasdecke zum größten Theile an die Kahlbalken des darüber befindlichen Dachstuhles gehängt.

429.
Deckenlicht
und
Dachstuhl
in
anderer Weise
vereinigt.

Der über einem Deckenlicht oder einer verglasten Decke befindliche Dachstuhl kann, außer durch Aufhängung, auch noch in anderer Weise den Träger der ersteren bilden. Am häufigsten wird dies in der Weise ausgeführt, daß man die unteren Gurtungen oder andere wagrechte, bzw. liegende Constructionstheile der Dachbinder unmittelbar zu Trägern der verglasten Lichtflächen macht; dabei wird verhältnißmäßig selten in Rücksicht auf das Deckenlicht das Tragwerk in besonderer Weise gestaltet; meist sind die Dachbinder nach den allgemein gebräuchlichen Systemen gestaltet.

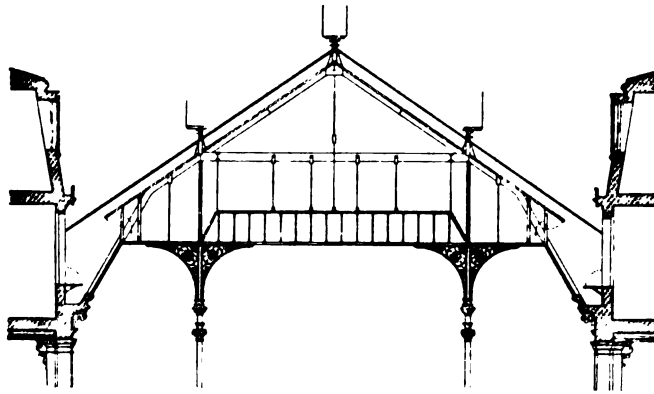
²³¹⁾ Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 510, 511.

Fig. 648.



Von den *Magasins du Bon Marché* zu Paris ²³¹⁾.

Fig. 649.



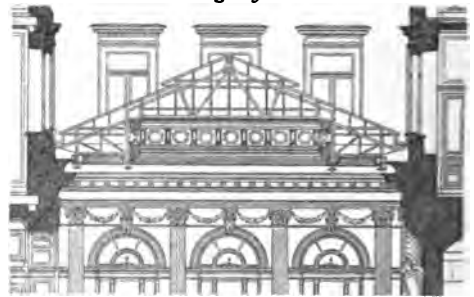
Von den *Magasins du Bon Marché* zu Paris ²³¹⁾.

$\frac{1}{200}$ n. Gr.

Eine solche besondere Gestaltung des Tragwerkes zeigen allerdings die in Fig. 650 ²³²⁾ u. 651 ²³³⁾ dargestellten Anlagen, die in gewissem Sinne auch den Uebergang von den im vorhergehenden Artikel vorgeführten zu den in Rede stehenden Constructionen bilden, da dabei auch eine Aufhängung an den Dachstuhl sich vorfindet.

Bei der durch Fig. 652 veranschaulichten Ausführung hingegen ist ein sonst auch übliches System von Dachbindern zu erblicken; doch ist an denjenigen Knotenpunkten, in denen die Sparren geknickt sind, der aus \square -Eisen gebildete Rahmen befestigt, auf welchem das Sprossenwerk des Deckenlichtes ruht. Zum Tragen des Sprossenwerkes dient auch noch ein stärkerer Längsträger, welcher mit den Firft-Knotenblechen durch Hängestangen verbunden ist.

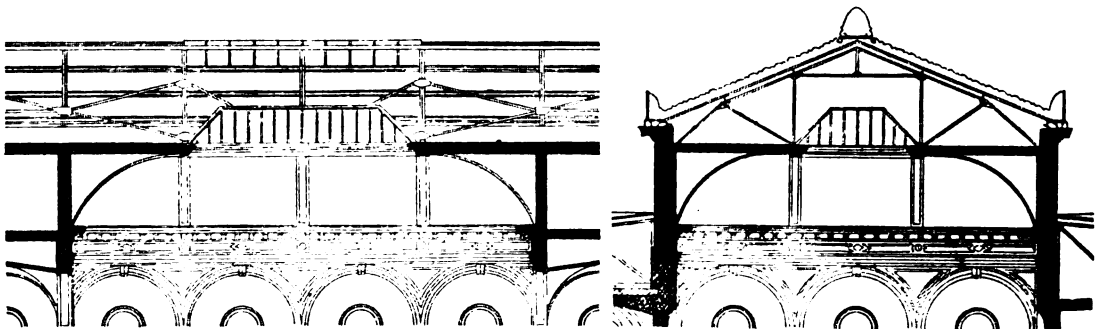
Fig. 650.



Vom Treppenhaus des Gebäudes der *Afficurazioni Generali* zu Triest ²³²⁾.

$\frac{1}{200}$ n. Gr.

Fig. 651.



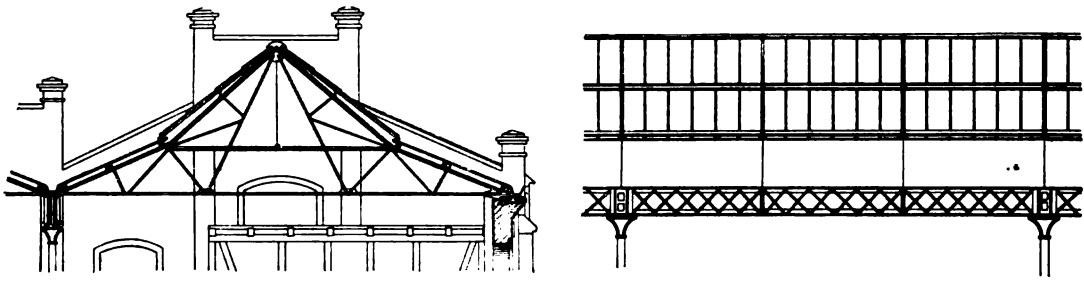
Von der öffentlichen Bibliothek zu Stuttgart ²³³⁾.

$\frac{1}{200}$ n. Gr.

²³²⁾ Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1888, Bl. 58.

²³³⁾ Facf.-Repr. nach ebendaf., Bl. 41.

Fig. 652.



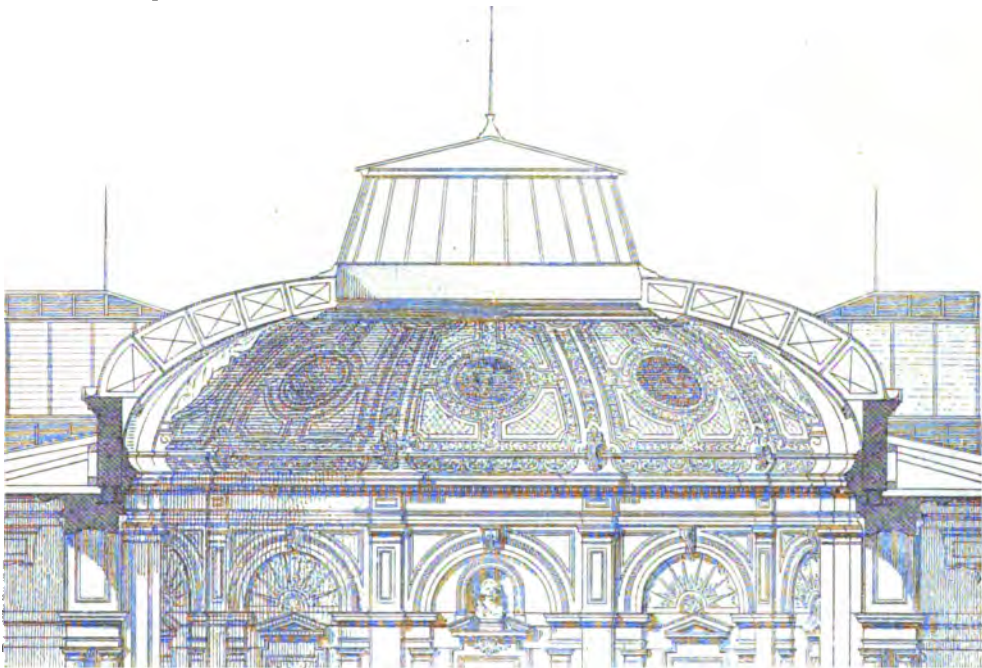
Vom Lackirerei-Gebäude auf dem Werkstätten-Bahnhof Leinhausen.

 $\frac{1}{100}$ n. Gr.

Eine unmittelbare Verwendung der Dachbinder in dem Sinne, daß die obere Gurtung das Dachlicht, die untere Gurtung das Deckenlicht aufnimmt, gestattet u. A., wie Fig. 654 zeigt, in sehr einfacher Weise der sog. englische Dachstuhl. Eine solche Ausführung ist z. B. über einem Deckenlichtsaal in der Bilder-Galerie des alten Museums zu Berlin²³⁴⁾ zu finden.

Auch Kuppeldach-Constructions können, wie aus Fig. 653²³⁵⁾ ersichtlich ist,

Fig. 653.

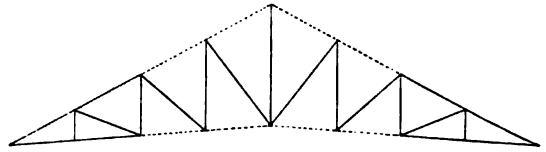
Vom Kunst-Museum zu Bern²³⁵⁾. $\frac{1}{150}$ n. Gr.

²³⁴⁾ Siehe darüber: Zeitschr. f. Bauw. 1871, S. 185 u. Bl. H.

²³⁵⁾ Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 12.

in dem hier in Rede stehenden Sinne für die Anbringung der Deckenlichter ausgenutzt werden. In Fig. 653 nimmt der Druckring der Kuppel, welcher die Laterne zu tragen hat, auch den Umfassungrahmen des Deckenlichtes auf.

Fig. 654.

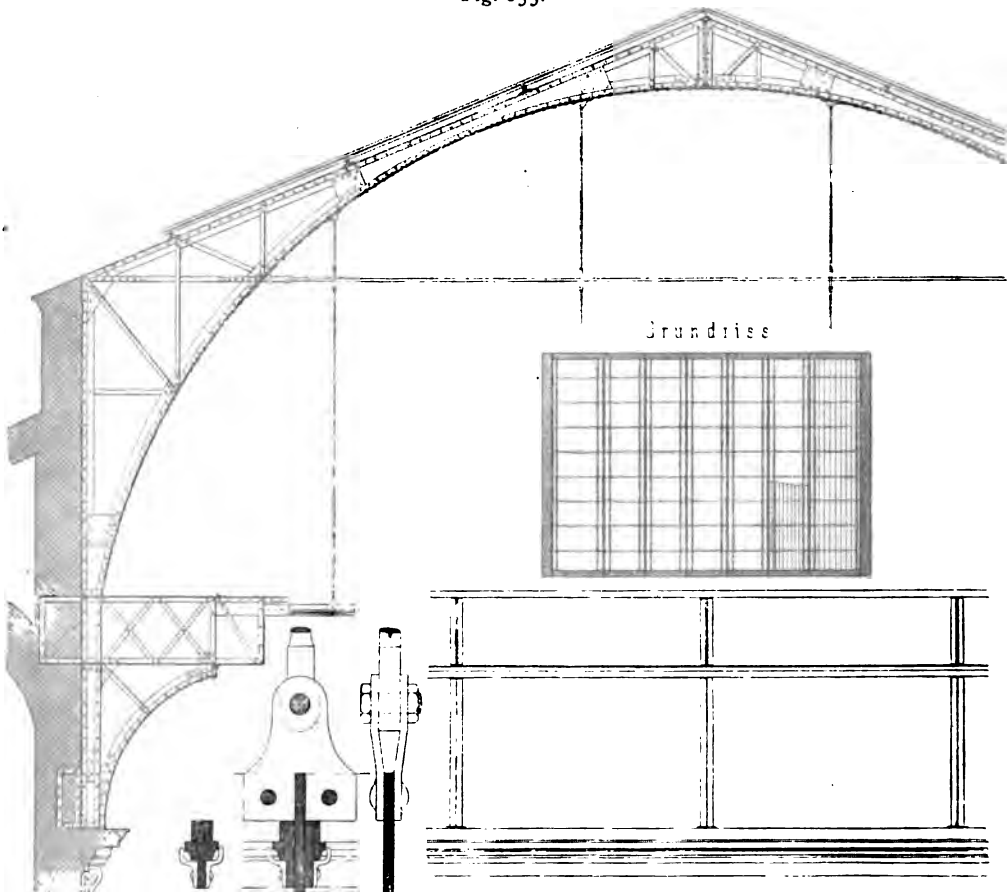


4) Verglaste Decken und Deckenlichter mit besonderen Trag-Constructions.

430.
Freistützen.

Wenn ein Deckenlicht, bzw. eine verglaste Decke bedeutende Abmessungen hat und wenn es aus irgend welchen Gründen nicht angeht, eine constructive Vereinigung mit dem darüber gelegenen Dachwerk durchzuführen, so müssen besondere Constructionstheile angeordnet werden, welche die verglasten Lichtflächen zu stützen, bzw. zu tragen haben. Verhältnißmäfsig felten werden diese Constructionstheile unter die verglaste Decke gesetzt; meist befinden sie sich oberhalb derselben. Hauptfächlich sind es Freistützen, ausgekragte Träger, Blech- und Gitterträger verschiedener Art, welche im vorliegenden Falle in Frage kommen.

Fig. 655.



Vom großen Lichthof des österreichischen Museums für Kunst und Industrie zu Wien ²³⁶).

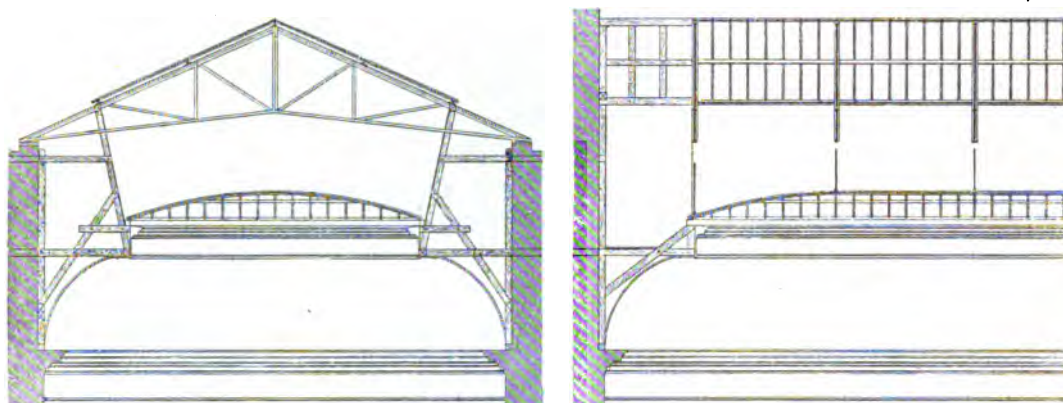
1/100, bzw. 1/600 n. Gr.

Für die Anwendung von Säulen oder anderen Freistützen wurde in Fig. 648 u. 649 (S. 583 u. 584) bereits ein Beispiel vorgeführt.

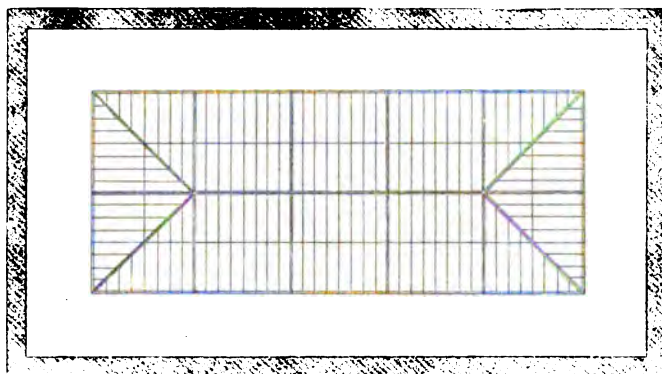
Bei manchen Ausführungen wird der Rahmen, welcher die verglaste Decke, bzw. das Deckenlicht begrenzt, durch consolenartige Träger gestützt, welche in den Umfassungsmauern des betreffenden zu erhellenden Raumes in geeigneter Weise verankert sind; bisweilen wird auch noch das Aufhängen an dem darüber befindlichen Dachstuhl zu Hilfe genommen.

437.
Ausgekragte
Träger.

Fig. 656.



$\frac{1}{250}$ n. Gr.



$\frac{1}{200}$ n. Gr.

Vom österreichischen Museum für Kunst und Industrie ²³⁶⁾.

Eine große Glasdecke letzterer Art ist über dem 24,18 m langen und 16,36 m breiten Lichthofe des österreichischen Museums für Kunst und Industrie zu Wien (Fig. 655 ²³⁶⁾) zu finden.

Diese Glasdecke wird theils durch Kraganordnungen unterstützt, theils ist sie an den eisernen Bindern des darüber befindlichen Dachstuhles beweglich aufgehängt. Eine mächtige, mit Stickschrauben versehene Hohlkehle bildet die Umrahmung der Glasdecke; sie ist gemauert, und ihr sehr bedeutendes Gewicht wird im Wesentlichen von eisernen Kragträgern aufgenommen, welche zum Theile von den Dachbindern getragen werden, zum Theile in den Umfassungsmauern fest verankert sind. Fig. 655 zeigt diese Träger,* und durch eine der beigelegten Theilabbildungen ist die Verbindung der Hängestange mit den Hauptprossen der Glasdecke im Einzelnen veranschaulicht ²³⁷⁾.

²³⁶⁾ Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

²³⁷⁾ Bezüglich weiterer Constructions-Einzelheiten siehe: WIST, J. Studien über ausgeführte Wiener Bau-Constructions. Wien 1872. S. 47 u. Taf. 39.

Fig. 657.

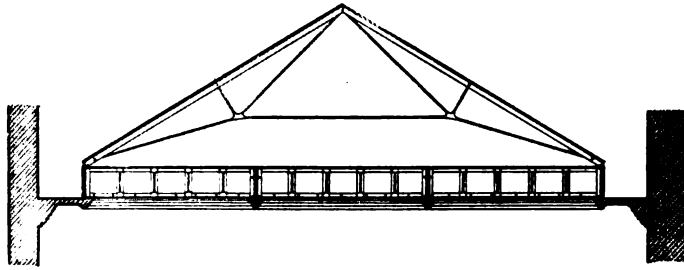
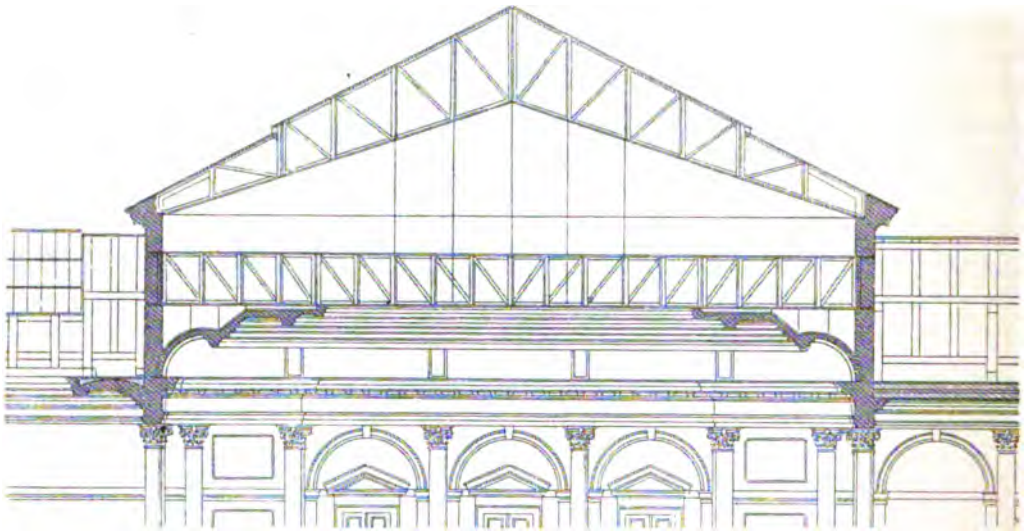
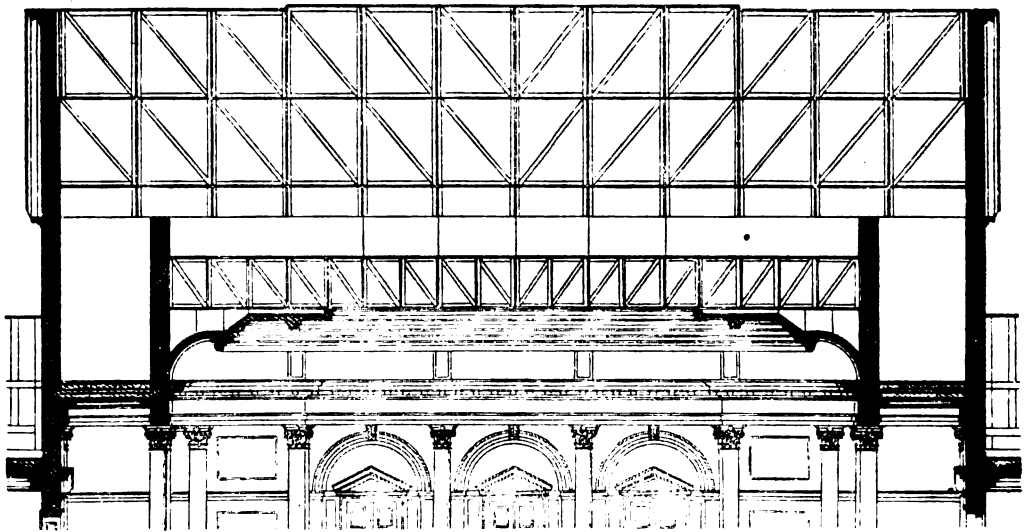


Fig. 658.



Querschnitt.



Längenschnitt.

Vom Sitzungsfaal des Landhaufes zu Brünn ²³⁹).

1/200 n. Gr.

Derlei auskragende Constructionstheile können auch in Holz ausgeführt werden, wie dies die Glasdecken in den Deckenlicht-Sälen desselben Museums zeigen (Fig. 656²³⁸).

Im Allgemeinen einfacher gestaltet sich die Construction der verglasten Decken, wenn man ihr Sproffenwerk durch eiserne Träger, die als Blechträger, Gitterträger oder Bogenträger ausgebildet sein können, unterstützt. Die hauptsächlich vorkommenden Anordnungen sind die folgenden:

432-
Blech-, Gitter-
und
andere Träger.

α) Man bildet die vier Theile des rechteckigen Rahmens, welcher die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht umschließt, als Blech- oder Gitterträger aus. Fig. 657 zeigt hierfür ein Beispiel.

Hier ist der Rahmen aus vier Gitterträgern zusammengesetzt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk ruht, während die oberen Gurtungen der beiden Längsträger der Ueberdachung als Auflager dienen. Der Rahmen selbst wird durch Kragträger gestützt; in der Längenrichtung der Glasdecke sind noch zwei gewalzte I-Träger angeordnet, welche dieselbe in drei Felder theilen.

β) Eine weitere Anordnung besteht darin, daß man in der Längen- und Quer- richtung des zu überdeckenden Raumes stärkere Träger verlegt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk lagert. Bei etwas größerer Breitenabmessung der Decke werden diese Träger eine so bedeutende Höhe erhalten, daß man sie, des Lichteinfalles wegen, kaum als Blechträger, sondern als Gitterträger ausführen wird.

In Fig. 658²³⁹) ist ein einschlägiges Beispiel veranschaulicht.

Für diese Glasdecke sind der Länge und der Quere nach je zwei Fachwerkträger angeordnet, welche auf den Umfassungswänden gelagert und überdies durch Hängestangen mit dem darüber befindlichen Dachstuhl verbunden sind. Die Construction des die Glasdecke umrahmenden undurchsichtigen Theiles (aus gewölbten Hohlkehlen etc. gebildet) ist an jene Fachwerkträger angehängt.

Auch die in Fig. 659²⁴⁰) dargestellte Ausführung, bei der die in Rede stehenden Träger nach Art der Dachbinder ausgebildet sind, gehört hierher.

Hier ist die schwere gewölbte Hohlkehle gleichfalls mit den Eisenträgern verbunden; es hat aber auch eine Verankerung mit den Umfassungsmauern stattgefunden.

γ) In wenigen Fällen sind die Glasdecken von unten aus durch eiserne Bogenträger unterstützt worden. Eine bemerkenswerthe Construction dieser Art zeigen Fig. 660 u. 661²⁴¹); die tragenden Theile der Glasdecke ruhen mit den Füßen auf Consolen, im Uebrigen auf Bogenträgern.

δ) Weniger einfach wird die Anordnung der Träger, sobald die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht nicht, wie seither stets vorausgesetzt wurde, rechteckig gestaltet ist, sondern eine andere Grundform besitzt. Je nachdem die letztere gebildet ist und je nach den anderen maßgebenden Verhältnissen wird die Ausführung allerdings eine ziemlich verschiedene sein.

So z. B. wird man bei einem kreisrunden Deckenlicht über einem quadratischen Raume die eisernen Träger nach Fig. 662 anordnen können.

Der innere Ring dieser Eisen-Construction trägt nicht allein das Sproffenwerk des Deckenlichtes, sondern auch die zeltdachförmig abgeschlossene Dachlaterne.

Ist hingegen der zu überdeckende Raum selbst rund gestaltet, so ordnet man die Hauptträger am besten radial an, wie dies z. B. bei der durch Fig. 663²⁴²) veranschaulichten Glasdecke über einem halbrunden Treppenhaus von 4,7 m innerem Halbmesser geschehen ist.

²³⁸) Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

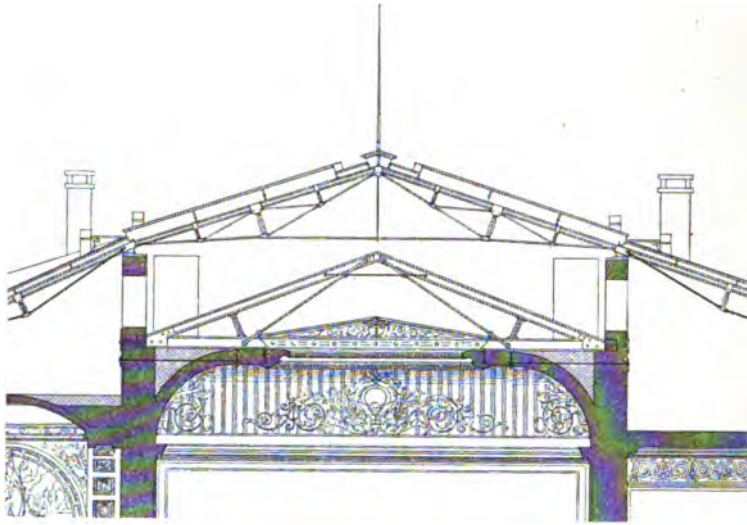
²³⁹) Nach: Allg. Bauz. 1879, Bl. 69.

²⁴⁰) Facf.-Repr. nach: Zeitschr. f. Bauw. 1879, Bl. 2.

²⁴¹) Nach: L'architecture, Jahrg. 5, S. 42 u. 43.

²⁴²) Nach: Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 315 u. Bl. 749.

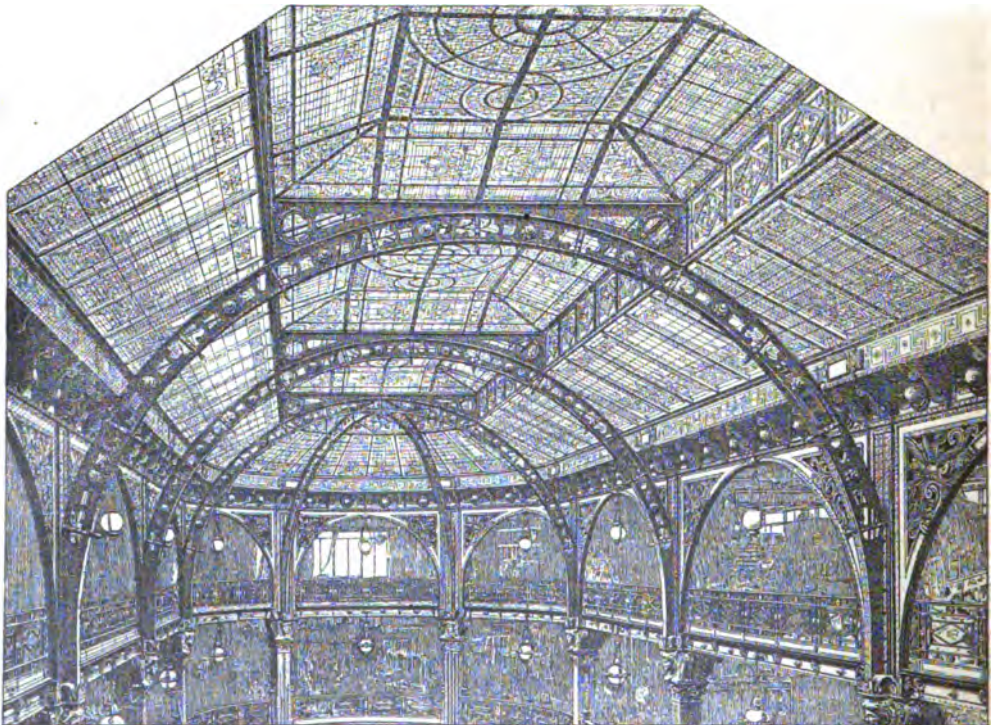
Fig. 659.



Von der Gemälde-Galerie zu Cassel ²⁴⁰⁾.

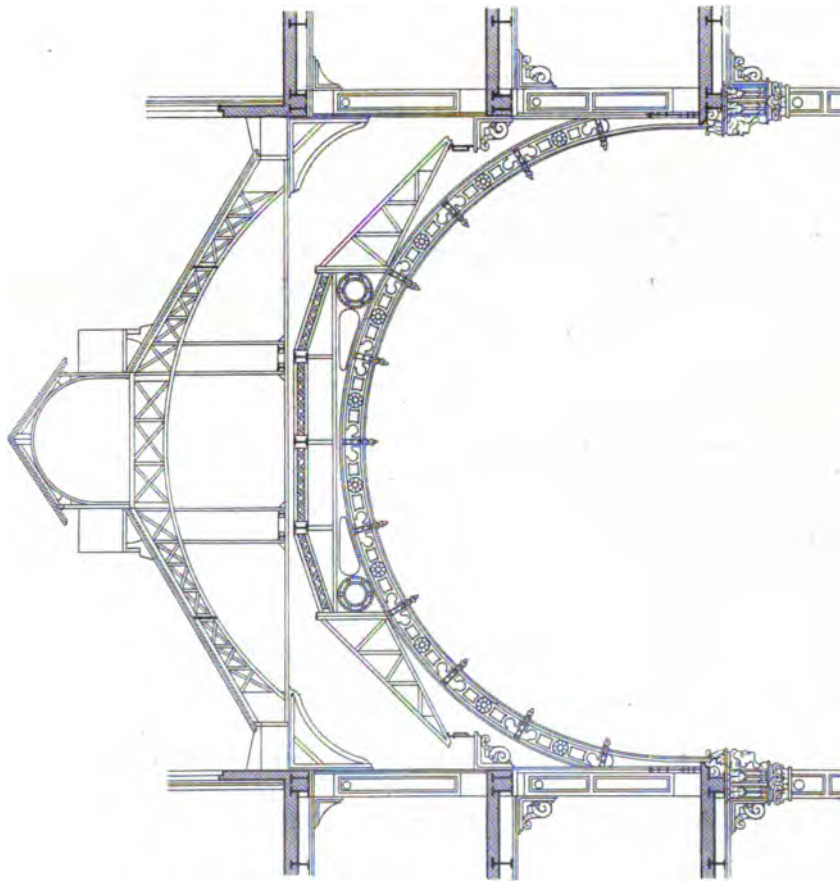
$\frac{1}{150}$ n. Gr.

Fig. 660.



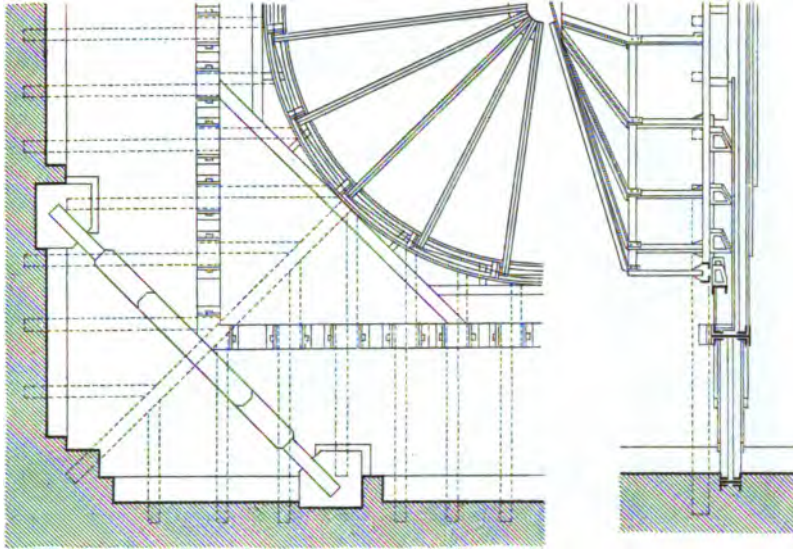
Von der großen Halle der *Magasins du Printemps* zu Paris ²⁴¹⁾.

Fig. 661.

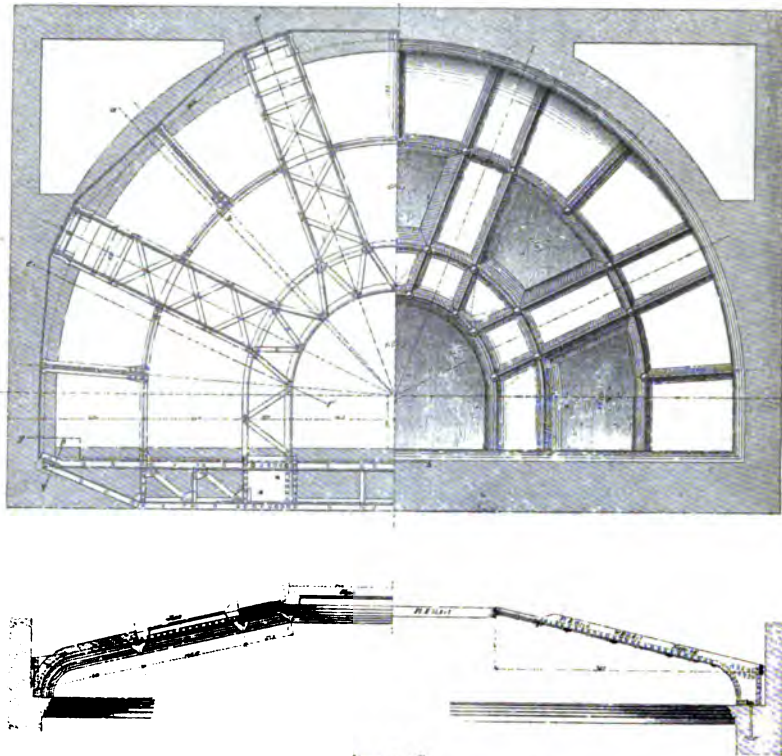


Querschnitt zu Fig. 660 341).
1/150 n. Gr.

Fig. 662.



1/100 n. Gr.

Fig. 663²⁴²).

1/100 n. Gr.

Die Eisen-Construction bildet hier die Hälfte einer Kuppel, in der die auf Druck beanspruchten Constructionstheile als Gitterträger ausgebildet sind. Als eigentliches Tragsystem sind dabei der gitterförmige Druckring, die 4 radial angeordneten Gittersparren, der Zugring, welcher die Auflager der letzteren verbindet, und der wagrechte Fachwerkträger, welcher die fehlende Kuppelhälfte ersetzt, zu betrachten²⁴²).

Literatur

über »Verglaste Decken und Deckenlichter«.

- SCHWATLO. Ueber die Anlage von Oberlichtern in eleganten Räumen. *Zeitschr. f. Bauw.* 1867, S. 442.
 BECKER. Ueber Glaslinsen. *Zeitschr. f. Bauw.* 1868, S. 309.
 Construction von Oberlichtern. *Haarmann's Zeitschr. f. Bauhdw.* 1877, S. 172.
 Die Straßen-Einfall-Lichter. *Haarmann's Zeitschr. f. Bauhdw.* 1881, S. 188.
 Patentirte Einfall-Lichter mit halbprismatischen Linsen in Treppenform. *Baugwks.-Ztg.* 1881, S. 423.
Hayward's pavement lights. Architect, Bd. 27, S. 139.
 Oberlicht-Construction. *Centralbl. d. Bauverw.* 1883, S. 244.
 Oberlichter von Linsen- und Prismenglas. *Centralbl. d. Bauverw.* 1885, S. 256.
 LAUGEREY. *Vitres-dalles et planchers translucides. La semaine des constr.*, Jahrg. 9, S. 582.
 BARRÉ, L.-A. *Planchers en fer et en dalles de verre. La semaine des constr.*, Jahrg. 10, S. 90.
 FRANGENHEIM. Einfache Verglasung der Dächer und Oberlichte. *Deutsche Bauz.* 1887, S. 417.
 BOILEAU, L.-C. *Les plafonds vitrés. L'architecture*, Jahrg. 3, S. 159; Jahrg. 4, S. 53, 519, 533; Jahrg. 5, S. 41.
 Fortschritte auf dem Gebiete der Architektur. Nr. 2: Verglaste Decken und Deckenlichter. Von A. SCHACHT & E. SCHMITT. Darmstadt 1894.

20. Kapitel.

Decken aus Wellblech- und aus *Lindsay*-Trögen.

VON GEORG BARKHAUSEN.

Von der Verwendung des Wellbleches zu Decken-Constructionen war bereits in Art. 95 (S. 104) die Rede, und bezüglich seiner Abmessungen und der Widerstandsmomente wurden in Art. 96 (S. 105 u. 106) die erforderlichen Angaben gemacht. An der erstgedachten Stelle ist bereits erwähnt worden, daß man mit Wellblechen auch Deckenanordnungen ohne tragende Walzbalken zur Ausführung bringen kann, und auch hier kann dies durch gerade oder durch bombirte Wellbleche geschehen.

Eine gerade Wellblechdecke aus Trägerwellblech von großer Weite, daher mit eisernem Unterzuge, unten geputzt, ist in Fig. 664 dargestellt, welche zeigt, wie gering die durch solche Decken eingenommene Höhe ist. Das Blech ist behufs ganz gleichmäßiger Auflagerung am Ende in ein Winkeleisen, etwa mit jeder dritten Welle, eingestiftet, welches auf, bzw. in der Wand ruht.

An den Wänden, welche mit den Wellen parallel laufen, ist die letzte abgebogene Welle in eine Fuge der Wand gesteckt, um Dichtung zu erzielen. Auf dem Unterzuge sind die unbefestigten Tafeln etwa 8 cm über einander gelegt und in den Bergen durch kleine Stifte verbunden. Zur Aufnahme des

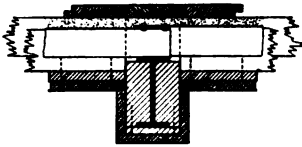
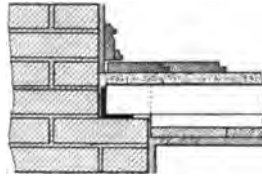
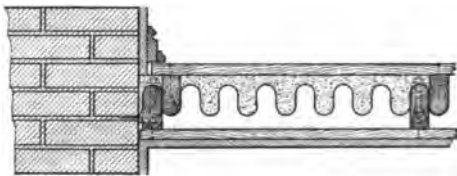


Fig. 664.



hölzernen Fußbodens sind Lagerleisten in Abständen von etwa 75 cm in die Wellen eingepaßt²⁴³⁾; der Zwischenraum zwischen Fußboden und Blech ist mit Füllmaterial so geschlossen, daß die Bretter thunlichst ganz voll aufrufen. Behufs Anbringens der Deckenschalung für den Putz sind auch von unten

Leisten eingepaßt und mit schwachen Bolzen an den Wellenbergen befestigt; auch der Unterzug ist rings in Holzleisten gehüllt, um ihn putzen zu können. Oben ist die Fuge zwischen Fußboden und Wandputz durch eine auf Dübel in der Wand geschraubte Stofsleiste wie gewöhnlich gedeckt. Die Füllung erhält auch hier zweckmäßig durch Beimengen eines schwachen Mörtelzusatzes so viel Zusammenhalt, daß ein Schub gegen die Wellenwände vermieden wird. Der Hohlraum zwischen Deckenschalung und Blech trägt zugleich zur Dichtigkeit und Feuerbeständigkeit der Decke bei, kann jedoch nöthigenfalls unbedenklich noch mehr eingeschränkt werden, als dies in Fig. 664 dargestellt ist.

Bezüglich der Berechnung der geraden Wellblechdecken sei auf Art. 95 (S. 104) verwiesen.

Fig. 665 rechts u. 666 zeigen Decken aus Wellblechbogen, welche wegen der hier vorwiegenden Beanspruchung des Bleches auf Druck in der Regel die Verwendung leichterer Bleche gestatten. Besonders zweckmäßig ist diese Anordnung zur Ueberdeckung langer schmaler Räume (Flurgänge u. dergl.). Man legt hier — bei zur Aufnahme des Schubes ungenügender Wandstärke mit einander verankerte — schwache L- oder C-Eisen in die Wand, welche den Druck des Bogens unmittelbar an die Mauern abgeben und bei Verankerungen die Schübe zwischen

433-
Gerade
Wellblech-
decken.

434-
Gekrümmte
Wellblech-
decken.

²⁴³⁾ Siehe: Gerade Wellblechdecke mit Holzbelag in Asphalt. Deutsche Bauz. 1883, S. 397.

den Ankern aufzunehmen haben; man wähle daher im letzteren Falle Eisen mit großer Seitensteifigkeit, etwa flach gelegte \sqcup -Eisen oder ungleichschenkelige \sqsubset -Eisen.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Kämpferanordnung der Blechbogen. Der Einfachheit wegen hat man das Blechende stumpf gegen die Fläche von erhärtetem fettem Cement-Beton (*b* in Fig. 666) oder auch ohne weitere Vorichtsmafsregeln unmittelbar gegen das Eisen der Träger (Fig. 665 rechts) gesetzt. Der scharfe Blechrand frifft sich dann aber leicht ein, und es ist daher besser, die Kämpferfläche erst mit schwachem Blech zu belegen oder, wie bei *a* in Fig. 666, ein Kämpfer-L-Eisen am Blech zu befestigen. Die Verankerung, welche hier wegen des meist geringen Gegenschubes der unbelasteten Oeffnung gewöhnlich in allen Fachen anzubringen und in je zwei Nachbarfachen behufs Anbringens der Muttern an jedem Träger um ein Geringes wagrecht zu versetzen ist (Fig. 666), liegt hier, wie bei Wölbungen, am

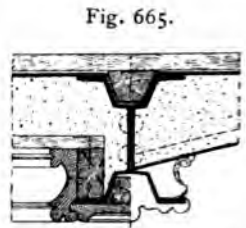


Fig. 665.

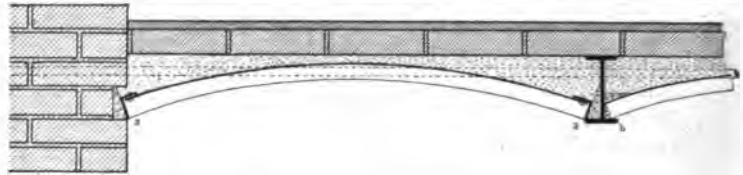


Fig. 666.

geschütztesten über dem Bogenscheitel, kann jedoch auch unter das Blech gelegt werden, wenn dieses hinreichend hoch in den Trägern ruht. In den Wänden erhalten die Anker die gewöhnlichen Splinte oder Druckplatten.

Eine einfachere und wirkfame Verankerung ist auch hier durch über, bzw. unter die Träger gelegte Flacheisen mit Klammern nach Fig. 207 u. 208 (S. 115) oder auch, bei ebener Deckenausbildung, durch nach Fig. 183 (S. 100) angebrachte *Monier*-Platten zu erzielen.

Um die Verankerung überhaupt zu vermeiden und so die Herstellung wesentlich zu vereinfachen, verwende man Träger mit thunlichst großer seitlicher Steifigkeit, z. B. den *Klette*'schen (Fig. 665 rechts) oder einen aus *Lindsay*-Eisen²⁴⁴⁾ zusammengefügten.

Die Ueberfüllung besteht meist aus Sand; doch ist auch hier die Herstellung aus ganz magerem Mörtel empfehlenswerth, weil die dadurch erzielte Festigkeit der Ueberfüllung in der unbelasteten Oeffnung dem Schube der belasteten erhöhten Widerstand leistet, folglich die Verankerung zu verschwächen, bzw. fehlen zu lassen gestattet.

Der Fußboden ist in Fig. 666 als aus Ziegelfachschicht mit Asphaltbelag bestehend dargestellt; doch ist jede andere Art — Bretter auf Lagerhölzern — gleichfalls möglich. In Fig. 665 rechts ist der mit Dachpappe unterdeckte Holzfußboden auf die in den *Klette*-Träger gelegten Lagerleisten genagelt.

Die Berechnung der gekrümmten Wellblechdecken hat auf Grund der in Art. 96 (S. 104) gemachten Angaben zu geschehen²⁴⁵⁾.

Die Decke aus *Lindsay*-Trögen (Fig. 667²⁴⁶⁾) ist der geraden Wellblechdecke in jeder Beziehung nahe verwandt. Die einzelnen Tröge werden als Platten mit verstärktem Mitteltheile gewalzt, dann rund oder kantig in die Trogform gebogen und nach Fig. 667 vernietet. Bei runden Trögen entsteht so eine Wellendecke mit Ver-

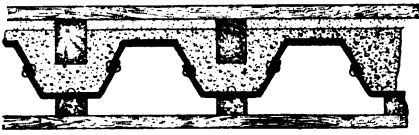
435.
Decken
aus
Lindsay-
Trögen.

²⁴⁴⁾ Siehe: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289. *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209.

²⁴⁵⁾ Ueber Wellblech-Decken siehe auch: *Eisenb.*, Bd. 14, S. 46.

²⁴⁶⁾ Siehe: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289. *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209. *Centralbl. d. Bauverw.* 1887, S. 389.

Fig. 667.

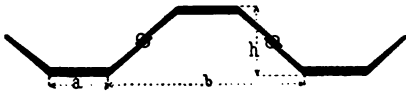


stärkungen in den Wellenscheiteln. Der wesentliche Unterschied gegenüber der Wellblechdecke ist die beträchtlich größere Tragfähigkeit, welche selbst unter schweren Lasten bei Verwendung der stärksten Querschnitte dieser Art die Anordnung von Spannweiten bis zu

12 m ohne zwischengelegte Unterzüge gestattet.

Die Troghöhlungen werden mit Schlacken-Beton ausgestampft, in welchen man die Lager für hölzerne Fußböden einstampft. Den Uebelstand, daß man für die Befestigung des Deckenputzes irgend welcher Art die Trogböden anbohren muß, hat diese Decke mit der Wellblechdecke gemein.

Fig. 668.



Eine gute Eigenschaft der Wellblech- und der Trogdecke ist die gleichförmige Vertheilung der Last auf die ganze Länge der stützenden Mauern, welche die Schwierigkeiten der Auflageranordnung

der nur an einzelnen Punkten Lasten abgebenden Balken und Träger beseitigt.

Die Abmessungen der *Lindsay*-Tröge ergeben sich mit Bezug auf Fig. 668 aus nachstehender Tabelle:

Nr.	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>G</i> für 1 qm Grund- fläche	<i>W</i> für zwei vernietete Quer- schnitte	Nr.	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>G</i> für 1 qm Grund- fläche	<i>W</i> für zwei vernietete Quer- schnitte		
<i>D</i> {	1	305	229	584	234	1640	<i>B</i> {	8	152	127	406	122	265
	2	305	229	584	171	1535		9	152	127	406	107	235
	3	305	229	584	136	1175		10	152	127	406	97	200
<i>C</i> {	4	178	152	508	166	563	<i>A</i> {	11	127	115	356	94	152
	5	178	152	508	133	480		12	127	115	356	78	126
	6	178	152	508	112	365	<i>O</i> {	13	102	102	203	75,5	101
	7	178	152	508	102	323		14	102	102	203	63	89
							15	102	102	203	53,5	70	
Millim.				Kilogr.	bezogen auf Centim.	Millim.				Kilogr.	bezogen auf Centim.		

Außer den eckigen Trögen in Fig. 667 u. 668 werden auch Halbwellen hergestellt²⁴⁷⁾, welche, eben so wie die Tröge vernietet, einen Wellenquerschnitt auf verstärkten Scheiteln, ähnlich den Trägerwellblechen, liefern.

21. Kapitel.

Verschiedene Decken-Constructions.

VON GEORG BARKHAUSEN.

An dieser Stelle sollen solche Deckenanordnungen über großen Räumen besprochen werden, welche, obwohl keine für eigentliche Widerlagerwirkung hinreichend starke Wände vorhanden sind, doch ohne Einfügen von den Raum durchschneidenden Zugankern die Herstellung der Formen größerer gewölbter Decken gestatten. Möglich

436.
Uebersicht.

²⁴⁷⁾ Vergl.: *Engineering*, Bd. 44 (1887), S. 809.

ist die scheinbare Herstellung jeder Gewölbeform dadurch, daß man zur Aufnahme der dem reinen Mauerwerke nicht zuzumuthenden Biegungsspannungen besondere Constructions-

theile aus Eisen einfügt, nach unten aber mehr oder weniger eine reine Steinfläche zeigt. Die Eisenrippen werden dann durch Bemalen oder untergehängte Zinkgefimse als Grate behandelt und gekennzeichnet oder durch Einputzen zum Verschwinden gebracht.

Auf derartige Decken kommt in der Regel kein Fußboden zu liegen. Soll indeß ein solcher über ihnen angeordnet werden, so können die Eisenrippen zugleich dessen Träger sein, oder er erhält eine eigene Trag-Construction, welche unabhängig von der Decke ist.

Die Besprechung aller vorkommenden Formen derartiger Decken würde zu weit führen; es sollen hier nur einige Beispiele behandelt werden.

Fig. 669 stellt eine große Tonnendecke ²⁴⁸⁾ dar, welche von nach der Bogenlinie gekrümmten Gitterträgern und dazwischen eingefetzten I-Längsträgern getragen wird.

Die Hauptträger sind, um alle Schübe gegen die Wände zu beseitigen, an einem Ende beweglich auf Rollen, am andern fest gelagert. Am beweglichen Lager ist die Decke mit der Wand in keinerlei Verbindung, damit die Bewegungen des Eisens nicht die gegenseitige Zerstörung der Theile

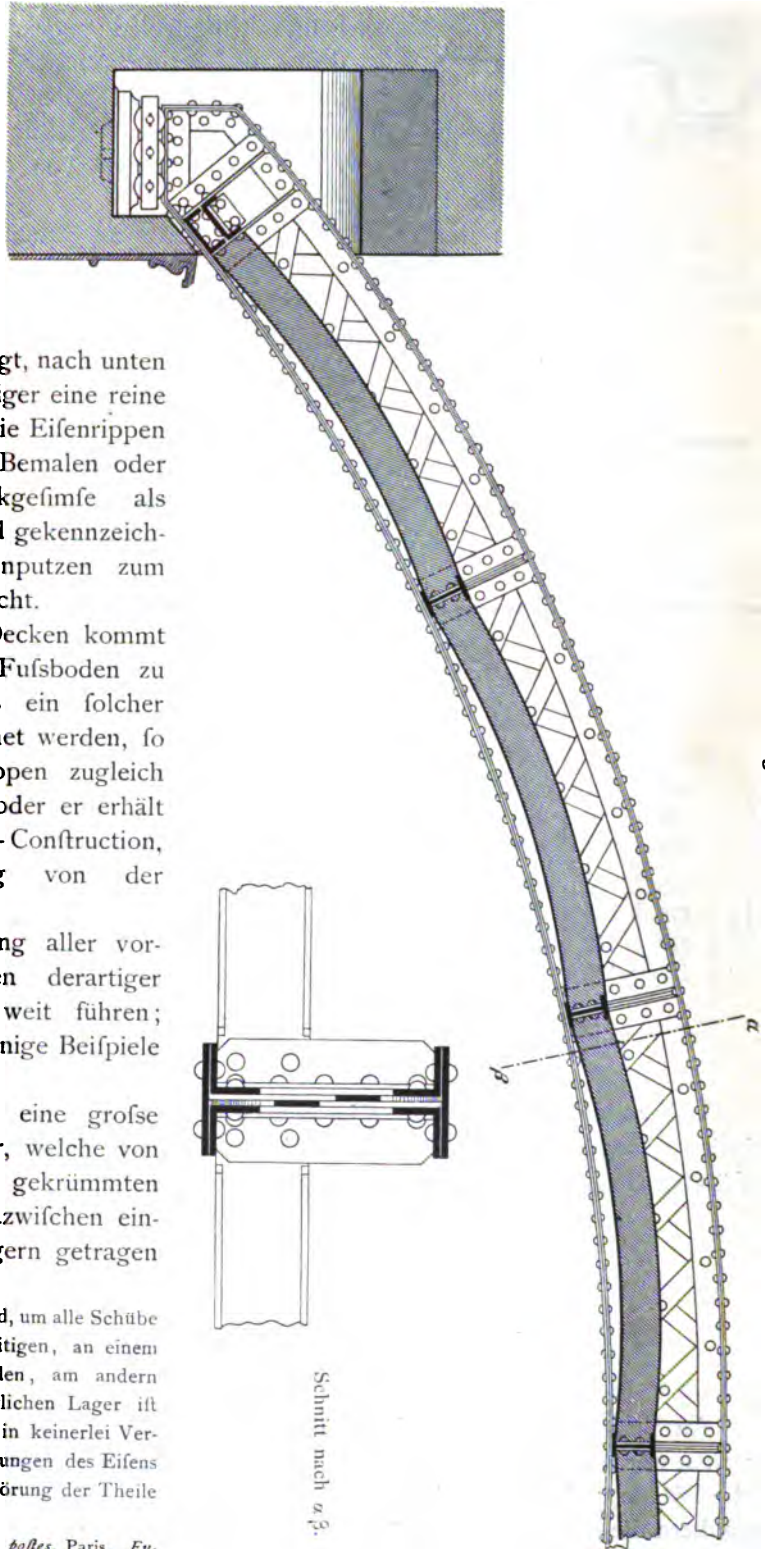


Fig. 669.

Schnitt nach a-b.

437.
Große
Tonnendecke.

²⁴⁸⁾ Vergl.: *Hôtel des postes*, Paris. *Encyclopédie d'arch.* 1887. S. 83.

veranlassen. Die unvermeidliche offene Fuge zwischen Wand und Decke kann durch ein Kämpfergefäls verborgen werden. Die großen Querträger können zur Aufnahme der Lasten eines darüber liegenden Raumes oder auch des Dachstuhles benutzt werden.

Die eigentliche Deckenfläche besteht aus den inneren Laibungen von kleinen Tonnen, welche mit möglichst geringem Pfeile aus thunlichst leichtem Baustoffe (Lochsteinen, porösen Steinen, Tuffsteinen, Aschensteinen, Schlackenbeton oder dergl.) eingewölbt sind. In der Regel werden die schwachen Krümmungen der einzelnen kleinen Tonnen gegen diejenigen der großen Tonne in der Innenansicht verschwinden; will man jedoch eine völlig reine Kreiscylinderfläche als innere Laibung haben, so kann man den Pfeil der kleinen Tonnen gegen die Bogenlinie der großen, welcher nur wenige Centimeter beträgt, ganz mit Putz füllen, in welchem dann die untere Gurtung der Längsträger ganz verschwindet, oder auch die kleinen Kappen mit dem Halbmesser der großen Bogen herstellen, so daß eine reine Tonnenfläche entsteht. Die Stärke der Kappen wird in derartigen Fällen nie über $\frac{1}{2}$ Stein zu steigen brauchen.

Die Schübe der Kappen heben sich, da alle unbelastet sind, nahezu völlig auf; doch ist bei der Ermittlung der Einwirkung der Kappen auf die Träger auf die geneigte Lage der ersten Rücksicht zu nehmen, da diese eine um so stärkere seitliche Beanspruchung der Träger zur Folge hat, je näher letztere der Wand liegen. Die Träger selbst sind unter der excentrischen Belastung nach dem im Theil III, Band I, Heft I (Art. 305, S. 206²⁴⁹) dieses »Handbuches« und im vorliegenden Hefte (Art. 98, S. 109 oder Art. 101, S. 114) erläuterten Verfahren zu berechnen.

Ganz besondere Aufmerksamkeit verlangt der letzte Träger am Kämpfer der großen Tonne, da man die letzte Kappe hier aus den oben angegebenen Gründen noch weniger in die Wand setzen darf, als bei den Balkendecken mit eingewölbten Feldern. Dieser letzte Träger ist dem vollen, einseitigen, schräg gerichteten Drucke der letzten Kappe ausgesetzt, muß also besonders kräftig sein, und wurde daher im vorliegenden Falle aus zwei mit der gegen Biegung widerstandsfähigsten Abmessung annähernd in die Richtung des Kappendrucks gestellten L-Eisen gebildet. Am festen Lager des großen Querträgers erscheint das unmittelbare Einsetzen der letzten Kappe in die Mauer eher zulässig.

Die Anschlüsse der Längsträger an die Hauptträger müssen der auf erstere übertragenen Kappenlast entsprechen und werden nach der Theilzeichnung in Fig. 669 ausgeführt, indem man den Längsträgern an den Enden die Flansche nimmt. Ist die Anordnung bei großer Länge des ganzen Raumes Wärmewechseln ausgesetzt, so ist es unzulässig, alle Längsträger fest mit den Hauptträgern zu vernieten, da diese durch die Bewegungen der ersteren schief gestellt werden würden. Es müssen vielmehr die Anschlüsse der Längsträger zu beiden Seiten jedes zweiten Hauptträgers mittels Schraubenbolzen in länglichen Löchern erfolgen, damit hier die Längenverschiebungen ausgeglichen werden können. An jedem Hauptträger einen Anschluß fest, den anderen beweglich anzuordnen, ist weniger empfehlenswerth. Die äußeren Enden der letzten Längsträger können in die Giebelwände gelagert werden.

Für die Hauptträger derartiger Anordnungen eignet sich, wegen vergleichsweise leichter Herstellung der gekrümmten Form, der Gitterträger besonders; das Krümmen von starken Walzträgern macht größere Schwierigkeiten. An den Enden bildet man die Wand aus einfachen oder hier doppelten vollen Blechen, um große Steifigkeit und Platz für den gewöhnlich unregelmäßigen Anschluß des letzten Kappenträgers zu erzielen. Beide Trägerenden werden gleich geformt; das eine ist dann auf einem festen Lager, welches nach Theil III, Band I, Heft I (Art. 319, unter γ u. Fig. 601 u. 602, S. 223 u. ff.²⁵⁰) zu gestalten ist, zu verdollen, das andere auf Rollen auf einer Grundplatte zu lagern; die Rollen verhindern durch vorspringende Ränder Seitenverschiebungen und werden durch auf kleine Stifte in den Rollenköpfen gesteckte Flacheisen in festem Abstände von einander gehalten. Der Durchmesser der stählernen abgedrehten Rollen beträgt 6 bis 10 cm; die Anzahl derselben wird in den hier in Frage kommenden Fällen nicht über 3 betragen.

Bei der Berechnung des Hauptträgers ist zu berücksichtigen, daß in den Längsträgerknoten neben den lothrechten Lasten auch wagrechte Kräfte angreifen, welche — in symmetrischen Knoten gleich groß aber entgegengesetzt gerichtet — zwar den Auflagerdrücken den gewöhnlichen Werth (gleich der halben Last) lassen, auf das den Träger biegende Moment, namentlich im gefährdetsten Mittelquerchnitte, aber vergrößernd einwirken. In der Regel werden die Hauptträger nach der Mitte hin also einer erheblichen Verstärkung durch Vermehrung der Kopf- und Fußplatten bedürfen.

Ein zweites Beispiel einer derartigen scheinbaren Wölb-Construction ist die in Fig. 670 dargestellte Zeltkuppel oder das mehrseitige Klostersgewölbe mit Decken-

438.
Zeltkuppel
mit
Deckenlicht.

²⁴⁹) 2. Aufl.: Art. 312, S. 234.

²⁵⁰) 2. Aufl.: Art. 329, unter γ u. Fig. 618 u. 620, S. 256 u. ff.

licht. Der zu überdeckende Raum ist regelmässig achteckig angenommen, die Abmessungen, auch des Deckenlichtes, sind in Fig. 670 eingetragen, wozu noch zu bemerken ist, daß der Pfeil der Kuppel bis zum Deckenlichte 3,0 m betragen soll.

Das Gerippe besteht aus 8 nach dem Mittelpunkte gerichteten Rippen von I-Eisen, welche an den oberen und unteren Enden je durch einen Ring verbunden sind. Die so entstandenen, im Grundriss trapezförmigen Felder sollen durch flache Kappen aus leichtem Baustoffe (1400 kg für 1 cbm) so geschlossen werden, daß der Kappenspfeil am Kuppelkämpfer $\frac{1}{10}$ (= 46 cm) beträgt; an den übrigen Stellen soll die Kappenkrümmung in den zur Feldmittellinie winkelrechten lothrechten Ebenen überall denselben Krümmungshalbmesser haben.

Die vollständige Berechnung dieses Beispiels möge hier folgen. In Fig. 671 ist die Bogenlinie der Gratrippe über der Gratseite des Feldes (Kreisbogen) und über der Mittellinie des Feldes die Bogenlinie des Kappenscheitels aufgetragen, deren Ordinaten sich aus denjenigen der Gratabogenlinie und den zugehörigen Stichen der Kappe (nach Fig. 672 in doppeltem Maßstabe gegen Fig. 671) zusammensetzen.

Fig. 670.

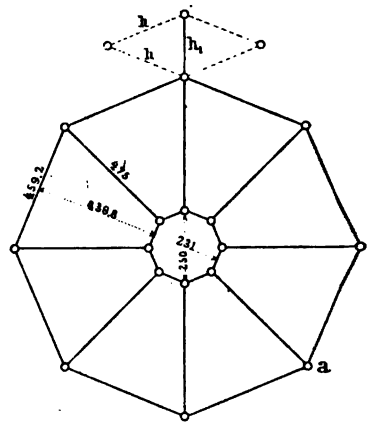
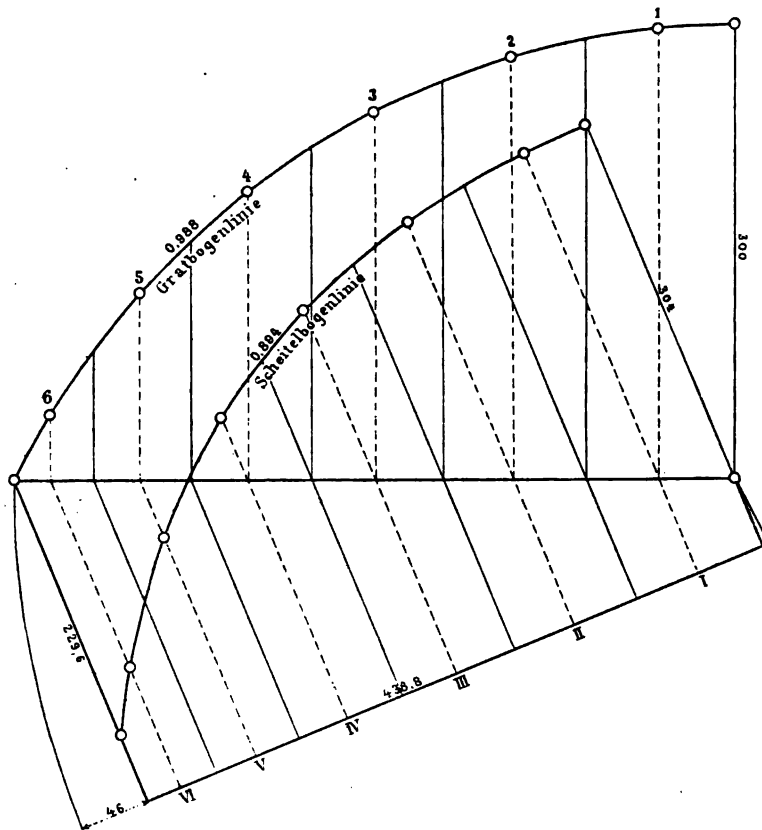


Fig. 671.



Bei der Berechnung der Kappen ist von dem Drucke abgesehen, welcher von den dem Kuppelscheitel näher liegenden flacheren Theilen auf die steileren am Kämpfer der Kuppel im Mauerwerke übertragen werden; es ist vielmehr angenommen, daß die Kappen aus lauter durch lothrechte Ebenen begrenzten Theilen bestehen, welche ihre Lasten und Schübe lediglich auf die Gratrippen übertragen, eine Annahme, wie sie bei Berechnung der Kreuzgewölbe stets gemacht wird.

Es ist nun sowohl die Grat-, wie die Scheiteltbogenlinie in 6 gleiche Theile getheilt, wodurch aus der Kappe 6 Ringe *1* bis *6* herausgeschnitten werden; es ist ferner die Kappenstirn im Kuppelkämpfer mit $\frac{1}{10}$ Pfeil in Fig. 672 aufgetragen, mit Angabe derjenigen Theillinien *I* bis *VI*, welche aus der größten Kappenlänge am Kämpfer die kleineren der dem Scheitel näher liegenden Streifen heraus-trennen. Die Gewichte sind dann zuerst als *a* für den kleinsten Streifen am Deckenlichte, dann fortschreitend mit *b*, *c*, *d*, *e*, *f* für die Unterschiede der auf einander folgenden Streifen ermittelt. Dabei ist für jeden Streifen unveränderlich diejenige (in Fig. 672 gestrichelte) Spannweite ange setzt, welche er in seiner Mitte wirklich besitzt.

Die Lasten *a* bis *f* sind in Fig. 673 durch die Hälften der so entstandenen Kappentheile, im Bogen gemessen, dargestellt, und der dieser Auftragung entsprechende Kräftemaßstab ergibt sich bei dem Längen-

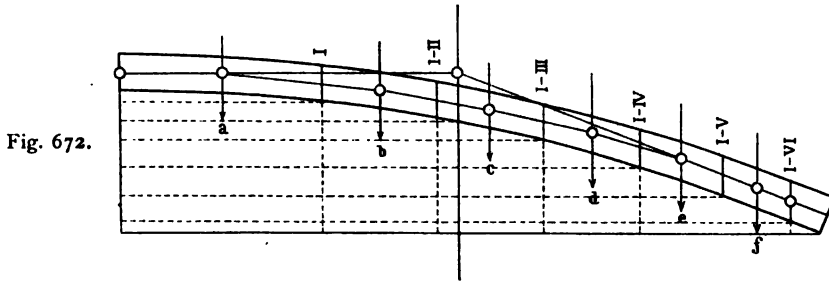


Fig. 672.

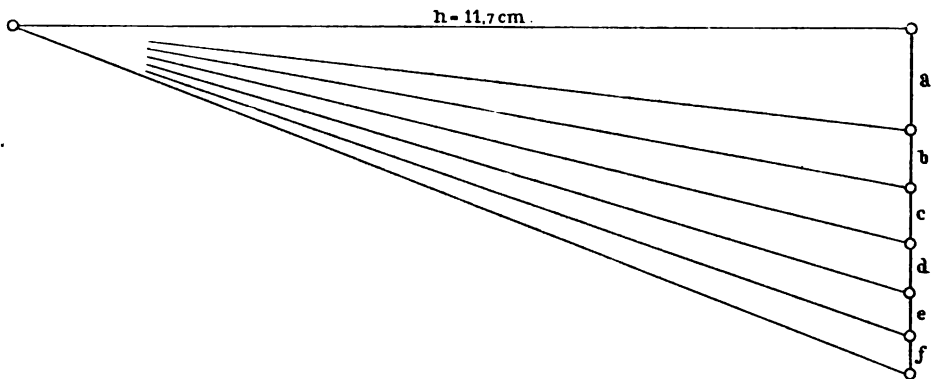


Fig. 673.

maßstabe 1:25 von Fig. 672 wie folgt. Ein Streifen hat, in der Scheiteltbogenlinie gemessen, bei 12 cm Stärke 0,894 m Breite; 1 lauf. Meter des Streifens, im Kappenbogen gemessen, wiegt somit $0,12 \cdot 0,894 \cdot 1 \cdot 1400 = 150 \text{ kg}$ und ist in Fig. 673 durch $\frac{100}{25 \cdot 2} = 2 \text{ cm}$ dargestellt; somit ist der Maßstab von Fig. 673: 1 cm = 75 kg. In Fig. 672 ist nun durch Einzeichnen der Mittel-Drucklinie der für alle Streifen gleiche Horizontalschub $h = 11,7 \cdot 75 = 878 \text{ kg}$ ermittelt, welcher als Pressung im Kappenscheitel $\frac{878}{12 \cdot 89,4} = 0,82 \text{ kg}$ liefert. Die Last, welche der Streifen *I* auf die Kuppelrippe überträgt, ist *a*, die des Streifens *II* gleich $a + b$ u. s. w., schließlich die des Streifens *VI* gleich $a + b + c + d + e + f$. Da aber am Grate zwei Kappen zusammenstoßen, so ist die ganze Last z. B. in Knoten *6* des Grates gleich $2(a + b + c + d + e + f)$. Außer dieser Last wirkt auf jeden Gratknoten von jeder Seite, mit der entsprechenden Kuppelseite gleich gerichtet, der Schub *h*, woraus sich ein in Fig. 670 in 1 cm = 800 kg ermittelter, in der Richtung des Halbmessers nach außen wirkender Schub *h*, für jeden Gratknoten ergibt. Die Angriffspunkte dieser Kräfte ergeben sich aus der Lage der in Fig. 672 eingetragenen Drucklinie, und zwar liegen sie in der Mitte der Kappendicke.

Diese Lasten und Schübe sind nun in Fig. 675 in 1 cm = 750 kg zusammengetragen, indem die Länge *h*, aus Fig. 670 nach dem Verhältniß von 800:750 vergrößert benutzt wurde (gleich $\frac{1}{10}$ der dem Maßstabe von Fig. 673 entsprechenden Länge), und die Auftragung der Lastensummen, mit Rücksicht auf die nothwendige Verdoppelung, durch Abgreifen von $\frac{1}{2}$ der in Fig. 673 zusammengesetzten Gewichte *a* bis *f* erfolgte. In Fig. 674 wurde die zunächst 14 cm hoch angenommene Gratrippe aufgetragen unter Uebnahme der 6 Kraftangriffspunkte aus Fig. 671 u. 672; auch wurden die Richtungen der 6 angreifenden Gesamtkräfte *1* bis *6* durch diese Punkte gehend eingezeichnet. Zu diesen Kräften tritt dann noch die

im Scheitel des Grates angreifende Last der Deckenlicht-Construction, welche schätzungsweise mit 50 kg für jeden Knoten fest gestellt und mit o bezeichnet wurde. Weiter ist nun mit Hilfe des Kräftezuges o bis 6 und des beliebigen Poles O , ein (punktirtes) Seilpolygon zur Bestimmung der Mittelkraft R (-----) aus den Kräften o bis 6 in Fig. 674 eingezeichnet und dann in bekannter Weise eine wagrechte Kraft H im Scheitel (hier Zug, nicht Druck) so bestimmt, daß die Mittelkraft R , aus H und R durch den Kämpfer-

Fig. 674.

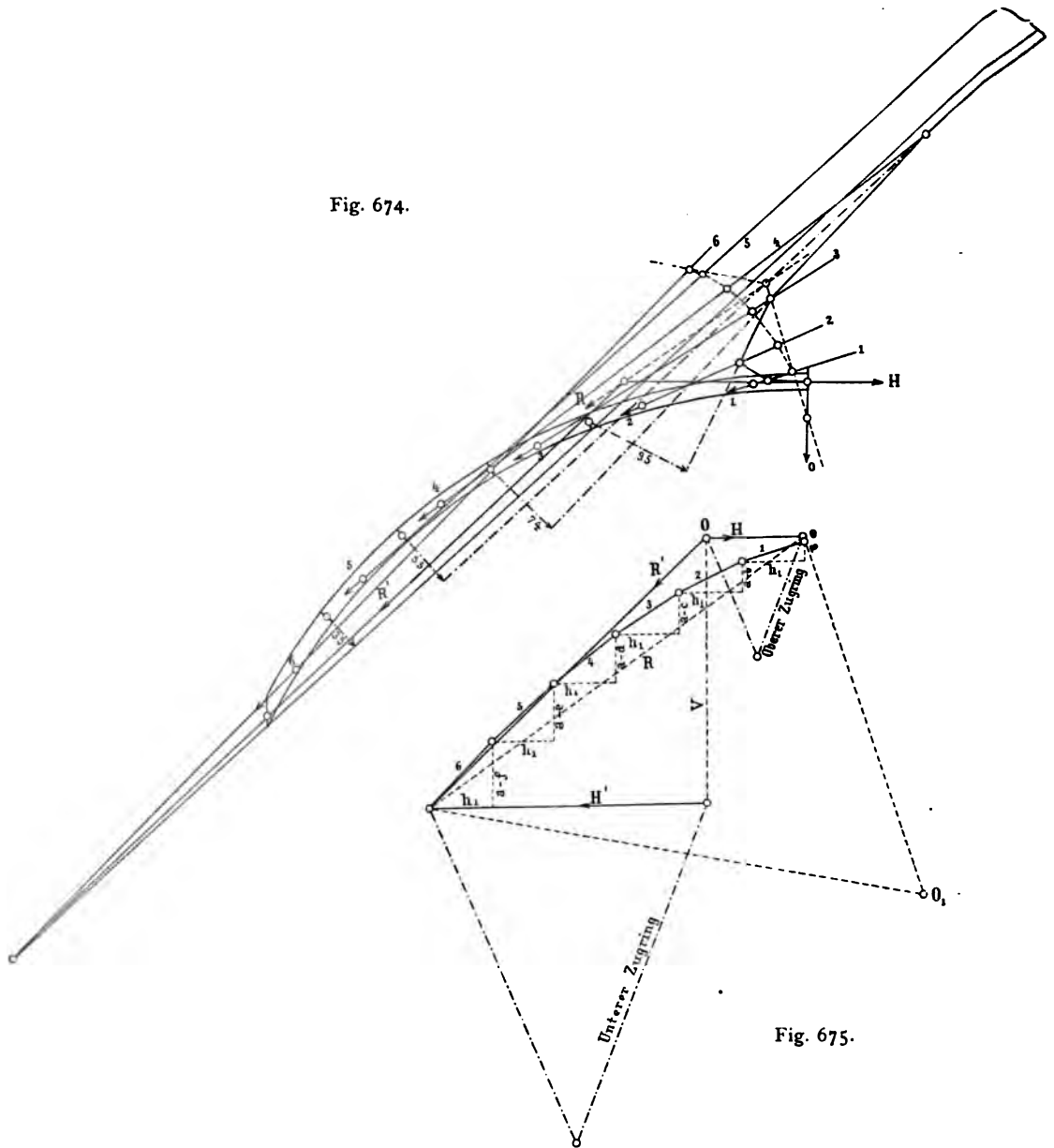


Fig. 675.

punkt der Gratrippe geht. Es bleibt dann im Kämpfer der Rippe die nach außen gerichtete wagrechte Kraft H' neben dem lothrechten Auflagerdrucke V übrig, welcher gleich der Summe der lothrechten Seitenkräfte der Kräfte o bis 6 ist.

Der wagrechte Zug H , so wie der Schub H' , müssen durch die die Gratrippen an den Enden verbindenden Zugringe aufgehoben werden, welche also die in Fig. 675 mit ----- Linien angedeuteten Spannungen: unten $5,2 \cdot 750 = 3900$ kg, oben $1,84 \cdot 750 = 1380$ kg erhalten. Der untere Ring soll daher aus Rundeisen von 2,5 cm Bruttodurchmesser gebildet werden; der obere könnte noch schwächer sein,

wird aber aus einem leichten C-Eisen (Nr. 8) hergestellt, da er die Last des Deckenlichtes auf die Knoten zu übertragen hat und den nöthigen Körper für das Anbringen von Zinkgefässen bieten muß, welche den Uebergang aus der Fläche der Zeltkuppel zum Deckenlichte geben.

Die Kräfte, welche auf die mitten zwischen den Kraftknoten liegenden ungünstigsten Querschnitte der Gratrippe einwirken, haben sich bei der Bestimmung von H durch Einzeichnen der (eine ungewöhnliche Gestalt annehmenden) durch den Gratkämpfer gehenden Drucklinie des Poles O (Fig. 675) zwischen die Richtungen der Kräfte o , H und r bis δ der Lage nach in Fig. 674 und der GröÙe nach in Fig. 675 ergeben. Sie beanspruchen die Querschnitte auf Biegung mit den für die 4 gefährdetsten Querschnitte in Fig. 675 eingetragenen Hebeln, dann mit der zum Querschnitte winkelrechten Seitenkraft auf Druck, bzw. in der Nähe des Scheitels auf Zug, und mit der zum Querschnitte gleich gerichteten Seitenkraft auf Abscheerung; die letzte Beanspruchung kann außer Betracht bleiben.

Für den zwischen 5 und 6 liegenden Querschnitt beträgt die wirkende Kraft $4,18 \cdot 750 = 3120$ kg, der Hebel 35 cm, die winkelrechte Seitenkraft (nicht eingetragen) $4,18 \cdot 750 = 3090$ kg und die gleich gerichtete Seitenkraft $0,88 \cdot 750 = 420$ kg; sonach wird das Bieugungsmoment $3120 \cdot 35 = 109\,200$ cmkg. Wird Normal-Profil Nr. 16 mit $F = 23$ qcm, $\frac{F}{e} = 118$ (auf Centim. bezogen) verwendet, so ist die gröÙste Druckspannung in der untersten FaÙer

$$\frac{109\,200}{118} + \frac{3070}{23} = 1060 \text{ kg,}$$

was bei der völlig ruhenden Belastung eine mäÙige Beanspruchung genannt werden kann.

Für den Querschnitt zwischen 4 und 5 beträgt die Kraft $2,98 \cdot 750 = 2220$ kg, der Hebel 55 cm, die winkelrechte Seitenkraft $2,98 \cdot 750 = 2220$ kg, die gleich gerichtete Seitenkraft nahezu Null und das Bieugungsmoment $2220 \cdot 55 = 122\,100$ cmkg; folglich ist der gröÙste Druck in der Unterkante des Normal-Profils Nr. 16

$$\frac{122\,100}{118} + \frac{2220}{23} = 1132 \text{ kg,}$$

was mit Rücksicht auf die ruhende Last noch zuläÙig ist.

Für den Querschnitt zwischen 3 und 4 beträgt die Kraft $1,84 \cdot 750 = 1380$ kg, der Hebel 74 cm, die winkelrechte Seitenkraft $1,78 \cdot 750 = 1320$ kg, die gleich gerichtete Seitenkraft $0,48 \cdot 750 = 360$ kg und das Bieugungsmoment $1380 \cdot 74 = 102\,120$ cmkg; folglich ist der gröÙste Druck in der Unterkante:

$$\frac{102\,120}{118} + \frac{1320}{23} = 922 \text{ kg.}$$

Von hier an werden die Querschnitte wieder sicherer, und das Normal-Profil Nr. 16 genügt demnach.

Bei der Berechnung ist nicht berücksichtigt, daß die Hebel entsprechend 14 cm Trägerhöhe abgegriffen sind, letztere nun aber 16 cm hoch ausfällt. Der entstandene Fehler ist in dem gewählten Maßstabe nicht nachzuweisen.

Die Ausführung der in solcher Weise ihren Abmessungen nach fest gelegten Construction ist bezüglich der wichtigsten Knoten in Fig. 676 bis 680 dargestellt. Fig. 676 bis 678 zeigen die Verbindung der Gratrippe mit dem unteren Zugringe und ihre Auflagerung. Die lothrecht abgechnittene Rippe setzt sich in ein nach dem Winkel des Achteckes gebogenes (in Fig. 678 abgewinkeltes) Knotenblech von 1 cm Dicke und wird durch zwei gebogene Laschenbleche mit ihm verbunden. Unten trägt das Knotenblech zwei Winkel-

Fig. 676.

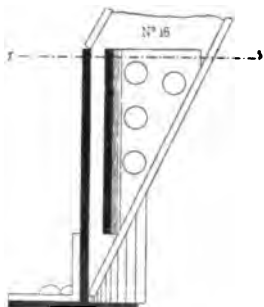


Fig. 678.

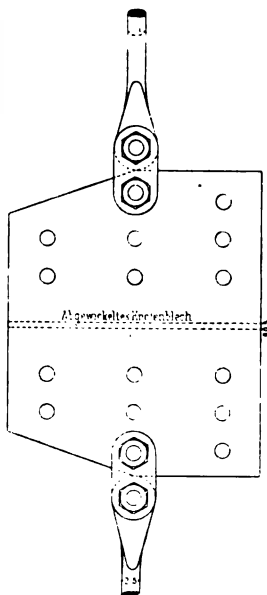
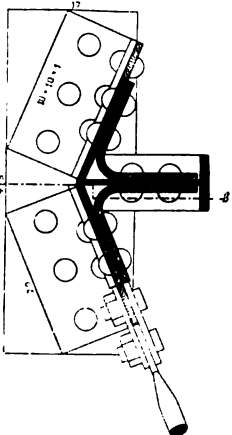


Fig. 677.



abschnitte und mittels dieser an unten versenkten Nieten eine Bodenplatte, welche groß genug sein muß, um den nach Fig. 675: $P = 3,76 \cdot 750 = 2820 \text{ kg}$ betragenden Auflagerdruck gehörig auf das darunter liegende Mauerwerk zu vertheilen. In den Mitten der Seitenkanten des Bleches greifen die beiden Zweige des Zugringes aus Rundeisen mittels flach ausgeschmiedeter Augen und doppelter Laschung (siehe Theil III, Band 1, Heft I dieses »Handbuches«, 2. Aufl., Art. 232, S. 169) an. Um den Ring von vornherein in Spannung bringen zu können, kann in jeden Zweig ein Schloß (siehe ebendaf., Art. 234, S. 163²⁵¹⁾) eingelegt werden, was bei guter Arbeit jedoch unnöthig ist.

Fig. 679.

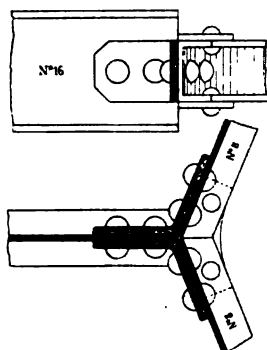
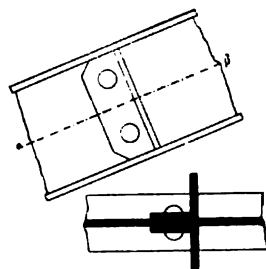


Fig. 680.



Der Knoten am Deckenlichtringe wird durch Fig. 679 dargestellt. Die beiden Ringseiten aus E-Eisen Nr. 8 sind zunächst durch zwei auf- und untergelegte Laschenbleche unter sich und dann mittels zweier gebogener Blechstreifen beiderseitig mit dem oberen Rippenende verbunden. Der obere Flansch des E-Eisens dient zur Auflagerung der Deckenlichtsprossen, welche nicht mit gezeichnet sind, und der so entstehende Höhenunterschied zwischen Unterkante des Laternenringes und Deckenlicht kann zur Ausbildung eines Gefälles benutzt werden.

An jedem der 6 angenommenen Rippenknoten muß noch dafür geforgt werden, daß die nicht winkelrecht zur Gratrippe gerichteten Kämpferdrücke der Kappen von der Rippe sicher aufgenommen werden und nicht das Abgleiten der Kappen auf den Rippen nach außen, bezw. nach unten zur Folge haben. Es sind daher in jedem Rippenknoten zwei Winkelabschnitte an den Steg genietet, deren absteigende Schenkel in das Kappenmauerwerk greifen und so jede Bewegung verhindern (Fig. 680).

Fig. 681.

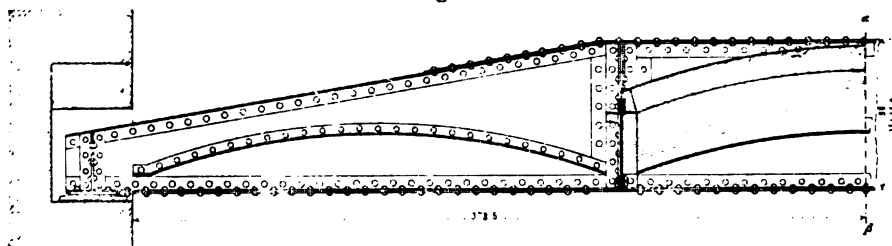
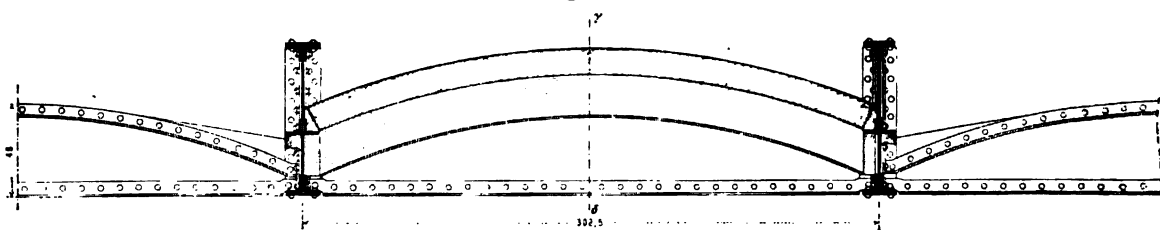


Fig. 682.



439.
Eiserne
Cassettendecke.

Als drittes Beispiel ist in Fig. 681 u. 682 eine eiserne Cassettendecke aufgetragen, deren Cassettenböden durch böhmische oder richtiger doppelt gekrümmte preussische Kappen gebildet werden, und welche über den zwischen steinernen Viaducten liegenden Flurgängen und Wartefallen der Bahnhöfe der Berliner Stadtbahn mehrfach angewendet ist.

Die Decke besteht aus einem starken, die Bahnsteige tragenden Trägerroste, in welchem die trapezförmigen Hauptträger (Fig. 681) von Viaductstirn zu Viaductstirn gestreckt wurden und der Schluß der

²⁵¹⁾ 2. Aufl.: Art. 239, S. 176.

nicht ganz quadratischen Felder dann durch kleine zwischen die Hauptträger eingenietete, gleichfalls trapezförmige Längsträger (Fig. 682) erfolgte. An die Trägerwände, welche die Maschen dieses Rostes umschließen, sind nach gleichen Halbmessern gekrümmte Winkleisen zur Aufnahme der Kämpfer der Kappenwölbungen angenietet, von denen die an den kleinen Längsträgern befestigten zugleich die obere Gurtung der letzteren bilden; es entsteht so der aus Fig. 681 ersichtliche verkehrt I-förmige Querschnitt.

Da die Felder im Grundriß rechteckig, alle Kämpferwinkel aber nach demselben Halbmesser gekrümmt sind, so können die Kappen streng genommen keine böhmischen genannt werden; sie entstehen, wenn man den kleineren an den Hauptträgern liegenden Schildbogen auf den größeren an den Längsträgern in stets lothrechter Stellung gleiten läßt. Uebrigens sind in diesem Falle die Uebermauerungen der Kappen zum Tragen der Bahnsteige mit ausgenutzt, so daß die Kappen die Lasten auf die Träger übertragen. Dabei gleichen sich die Kappenschübe für die Träger aus, und die letzten Kappen finden ihre Kämpfer in den zur Aufnahme der Schübe ausreichend starken Viaductstirnen zwischen den verdeckten Lagern der Hauptträger. Die letzten Kappen hier unmittelbar gegen die Viaductstirnen zu setzen, erschien unbedenklich, weil einerseits erhebliche Wärmeschwankungen in den Räumen nicht vorkommen, andererseits die Bewegungen der nur kurzen Hauptträger auch nur unerhebliche sein würden.

Berichtigungen.

- S. 94, Zeile 5 v. u.: Statt »1 qm« zu lesen: »1 qm«.
 S. 274, » 13 v. o.: Statt »Zugankern« zu lesen »Zugankern«.
 S. 275, » 10 v. o.: Statt »Gleichung« zu lesen »Gleichung 199«.
 S. 279, » 12 v. o. } : Statt »02, bzw. 24« zu lesen »42, bzw. 24«.
 S. 280, » 10 v. u. }
 S. 288, » 17 v. o.: Statt »geordneten« zu lesen »geordneter«.

x Tech 21
D93
v. II. 3

